

## کاهش پهنه خطر سیل در حوضه دشت کاشان از طریق اجرای سناریوی آمایش خطرمدار

ملیحه سادات حمصی (sadatmalih@yaho.com)

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

داریوش یاراحمدی\*

دانشیار، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

مجید اونق (mownegh@yahoo.com)

استاد، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گرگان، گرگان، ایران

علی‌اکبر شمسی‌پور (Shamsipr@ut.ac.ir)

دانشیار، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۴/۳۰ - تاریخ پذیرش ۱۳۹۸/۸/۲۳

### چکیده

هرساله سطح وسیعی از کشور تحت تأثیر طغیان آب رودخانه‌ها و جاری شدن سیلاب قرار می‌گیرد. اجرای برنامه‌های آمایشی در راستای مدیریت خطر سیل با تشخیص پتانسیل‌ها و محدودیت‌های موجود در هر حوضه و تلاش برای کاهش سیلاب و افزایش بهره‌وری اراضی تأثیرات چشمگیری دارد. هدف اصلی این تحقیق، معرفی رویکرد جدید آمایش خطرمدار با توجه به پهنه خطر سیل، در حوضه آبخیز دشت کاشان است. به‌منظور تهیه نقشه احتمال و حساسیت سیل حوضه با استفاده از مدل EBF، از پارامترهای طبقات ارتفاعی، درصد شیب، انحنای زمین، شاخص رطوبت توپوگرافی، توان آبراهه، میانگین بارندگی، فاصله از رودخانه، سنگ‌شناسی، نوع خاک و کاربری اراضی در حوضه دشت کاشان استفاده شد. ابتدا همه پارامترها با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10.4 با فرمت رستری تهیه شدند. برای تهیه نقشه کاربری سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۱۷ از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ (MSS) و ۸ (OLI) و نرم‌افزار ENVI 5.3 و الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شد. سپس نقشه موقعیت جغرافیایی ۲۱۳ نقطه سیل‌گیر در منطقه تهیه شد. نقاط به‌صورت تصادفی به گروه‌هایی متشکل از ۱۴۹ نقطه (۷۰ درصد) و ۶۴ نقطه (۳۰ درصد) به‌ترتیب برای واسنجی و اعتبارسنجی تقسیم شدند و بعد از آن احتمال رخداد سیل برای هر طبقه از پارامترها محاسبه شد. وزن‌های به‌دست‌آمده در لایه‌های مربوط اعمال شد و با استفاده از توابع روی هم‌گذاری نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیل به‌دست آمد. سپس عوامل مؤثر در سیل، در دو دسته معیارها و محدودیت‌ها، براساس توابع فازی استانداردسازی و با استفاده از روش AHP وزن‌دهی و با مدل WLC روی هم‌گذاری شدند. در نهایت نقشه نهایی آمایش خطرمدار براساس کاربری سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۱۷ به‌دست آمد. نتایج نشان داد که در نقشه‌های آمایش خطرمدار هر دو سال، کاربری حفاظت بیشترین درصد (به‌ترتیب ۶۹ و ۶۸/۷ درصد) و کاربری کشاورزی با طبقه متوسط، کمترین درصد (به‌ترتیب ۰/۵ درصد و ۰/۱۴ درصد) از مساحت حوضه دشت کاشان را دارا هستند.

**واژه‌های کلیدی:** حوضه آبخیز دشت کاشان، خطر سیل، مدل آمایش خطرمدار، مدل EBF.

**مقدمه**

سیل از بلاای طبیعی است که خودبه‌خود به وجود نمی‌آید، بلکه نحوه کاربری زمین موجب بروز آن می‌شود. سیل، هرساله خسارات جانی و مالی فراوانی را سبب می‌شود. طی یک مرحله فراز غیرمعمول رودخانه با خارج شدن جریان آب از بستر قانونی آن، رودخانه طغیان می‌کند و نواحی مجاور ساحل رودخانه را به زیر آب می‌برد [۶]. در آسیا در حدود ۹۰ درصد تلفات انسانی ناشی از بلاای طبیعی و عمدتاً سیل است [۱۶]. ایران در سال ۱۳۹۸، سیل‌های گسترده‌ای در بخش‌های مرکزی کشور شامل قم، کاشان، اصفهان، یزد و کرمان را تجربه کرده است. دشت‌های سیلابی رودخانه‌ها از نقاط بحرانی سیل هستند. حوضه دشت کاشان یکی از این مناطق است که در سال‌های متعدد، در معرض هجوم سیلاب قرار گرفته و خسارات جانی و مالی بسیاری بر ساکنان آن وارد شده است. دستیابی و حل مشکلات مدیریت محیط در مقیاس آبخیز، مستلزم رویکردی یکپارچه در ارزیابی و مدیریت است که در آن باید فرایندها و همه پیامدهای بیوفیزیکی و اقتصادی-اجتماعی در نظر گرفته شود [۷]. سطح زمین در مقیاس آبخیز، موزاییک پیچیده‌ای از قابلیت‌ها و خطرهای محیطی (نقطه تعارض جامعه و طبیعت) به‌شمار می‌رود که شدت و ارزش عددی سود و زیان آنها برای مقاصد آمایش سرزمین و توسعه پایدار با مدل‌های عینی و ذهنی مختلف قابل ارزیابی است. در هر ناحیه آمایشی جمع‌گیری قابلیت‌ها (منابع مثبت) و خطرها (منابع منفی) با نسبت معین (با تفاوت بین ناحیه‌ای) مساوی یک است و مدیریت پایدار آن در گرو متعادل‌سازی برنامه‌های توسعه حول راهبردهای نوین آمایشی توافقی و ترجیحی و تبدیل تهدید به فرصت قرار دارد. در دهه اخیر، آمایشگران به‌دنبال تجربه ناموفق تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت، خلأ قانونی و حل ناقص معادله توسعه پایدار در مناطق خطرخیز درصدد اصلاحات نگرشی و فیزیکی برآمده‌اند. در صدر آنها، در اقدامی فراگیر با تلفیق ماهرانه و انعطاف‌پذیر مدل‌های تجربی ارزیابی قابلیت‌ها و خطرهای محیطی و حمایت سازمانی و حقوقی برخی از کشورهای پیشگام با تصویب قانون الزام دخالت بلاای طبیعی در متن هر برنامه توسعه، افق جدید «پارادایم آمایش خطرمدار» گشوده شد و در حد یک «پیوند آمایشی» به کارایی برنامه‌ها و تحقق اهداف چندجانبه توسعه پایدار و مدیریت خطرهای محیطی شتاب جهشی داده شد [۱]. استفاده از روش GIS برای تولید نقشه‌های سیل‌گرفتگی دارای مزایای بسیار زیادی نسبت به روش‌های سنتی ترسیم محدوده سیل‌گرفتگی دشت سیلابی است، چراکه برنامه‌های خودکار ترسیم، می‌توانند به مقدار بسیار زیادی صحت نقشه و سرعت تولید آن را بهبود ببخشند [۱۴]. روش‌های آماری فراوانی برای

پهنه‌بندی آماری خطر سیل وجود دارد که می‌توان به مدل‌های نسبت فراوانی [۱۷،۲۸]، مدل شاهد وزن [۲۷]، و مدل شاهد توابع قطعی<sup>۱</sup> [۲۴] اشاره کرد.

در سال‌های اخیر تحقیقات متعددی در زمینه پهنه‌بندی خطر سیل [۲۲،۲۶]، اثر تغییر کاربری زمین بر پهنه خطر سیل [۱۵،۲۱،۲۵] و اثر سناریوی کاربری آمایشی بر پهنه خطر سیل ارائه شده است. اونق (۱۳۸۸) آبخیز را موزاییک پیچیده‌ای از قابلیت‌ها و خطرهای محیطی (نقطه تعارض جامعه و طبیعت) می‌داند و پارادیم آمایش خطرمدار را برای تحقق اهداف چندجانبه توسعه پایدار و مدیریت خطرات محیطی پیشنهاد می‌کند. پریسای و همکاران (۱۳۹۶) در حوضه آبخیز سد بوستان، کاربری نامناسب اراضی و تجاوز به حریم رودخانه را از مهم‌ترین دلایل وقوع سیلاب می‌دانند. آنها سناریوهای آمایشی در پهنه خطر این حوضه را به‌عنوان یک سناریوی مدیریتی ارزیابی کردند. گلاووچیچ و همکاران (۲۰۱۰) در نیوزیلند، به بررسی اثر آمایش سرزمین در کاهش پهنه خطر بلایای طبیعی پرداختند و رویکرد آمایش سرزمین را در کاهش مساحت پهنه خطر مؤثر دانستند. رحمتی و همکاران (۲۰۱۶b) در مطالعه‌ای در استان گلستان، کاربرد دو مدل Frequency Ratio و Weights-of-evidence Models (WoE) را در پهنه‌بندی خطر سیل بررسی کردند و نتیجه گرفتند که هر دو مدل نتایج تقریباً مشابهی دارند، بنابراین نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل می‌تواند برای محققان و برنامه‌ریزان در راهبردهای کاهش سیلاب مفید باشد.

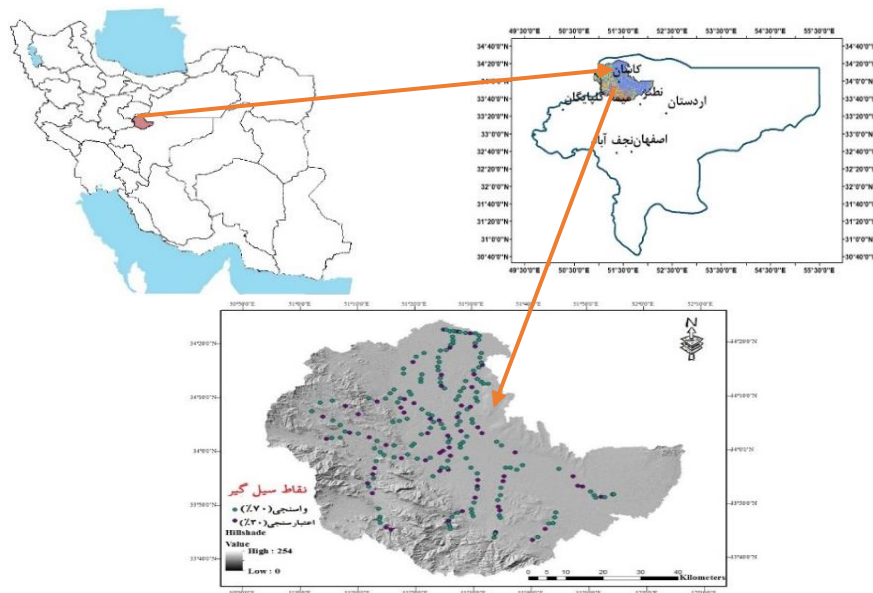
در قسمت غربی حوضه آبخیز دشت کاشان که کوهپایه‌ای بوده و ورودی رودخانه اصلی حوضه (سوک چم) از این قسمت است، به‌علت بارندگی‌های تند، ناگهانی و کوتاه‌مدت، هر ساله سیل‌های زیاد با خسارت‌های فراوانی مشاهده می‌شود. با توجه به رشد روزافزون جمعیت در این دشت و استقرار واحدهای صنعتی و وقوع سیلاب و خسارت‌های فراوان در سال‌های اخیر در منطقه، معرفی یک روش مدیریتی برای کاهش پهنه خطر بلایای طبیعی ضرورت می‌یابد. از این‌رو در این تحقیق پهنه خطر سیل در عرصه آبخیز تعیین و رویکرد نوین آمایش خطرمدار براساس کاربری سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۱۷ به‌عنوان یک سناریوی مدیریتی برای بهبود شرایط آبخیز ارائه شد.

### محدوده تحقیق

دشت کاشان با مساحت ۵۵۷۴ کیلومتر مربع در دامنه کوه‌های کرکس و در حاشیه کویر مرکزی ایران بین طول‌های ۵۰°۵۴′۲۹″ تا ۵۲°۰۶′۳″ شرقی و ۳۳°۳۶′ تا ۳۰°۶′

1. Evidential Belief Function

۳۴° شمالی واقع شده است و شهر کاشان و بخش‌های مرکزی آن، شهر آران و بیدگل و همه بخش‌های آن و اراضی کشاورزی واقع در دشت را شامل می‌شود. دشت کاشان را می‌توان دره‌ای باریک با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی دانست. عرض این دره در حدود ۲۰ کیلومتر است که از شمال به دشت قم و دریاچه نمک، از غرب و جنوب به رشته کوه کرکس و از شرق به تپه‌های ماسه‌ای ریگ بلند کاشان ختم می‌شود (شکل ۱). اقلیم منطقه با توجه به روش دومارتن، در مناطق دشتی خشک یا بیابانی و در مناطق کوهستانی نیمه‌خشک است. بیشترین بارش در فصل‌های زمستان و بهار اتفاق می‌افتد.



شکل ۱. موقعیت حوضه دشت کاشان و پراکنش نقاط سیل

### روش تحقیق و داده‌ها

از عوامل مختلف مؤثر بر سیل، براساس داده‌های در دسترس از منطقه، ۱۱ عامل درصد شیب، طبقات ارتفاعی، واحدهای سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، تیپ خاک، شاخص توان آبراهه (SPI)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، انحنا زمین، کاربری زمین و بارش

1. stream power index
2. Topographic wetness index

باران برای سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۱۷ انتخاب و نقشه‌های رستری آنها با ابعاد سلول  $30 \times 30$  تهیه شد. نقشه طبقات ارتفاع زمین و شیب زمین براساس مدل رقومی ارتفاع (با قدرت تفکیک ۳۰ متر) و نرم‌افزار ArcGIS10.4.1 تهیه شد. برای بررسی تغییرات کاربری اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای MSS لندست ۵ سال ۱۹۸۵ و سنجنده OLI لندست ۸ سال ۲۰۱۷ استفاده شده. سپس تصاویر رنگی کاذب برای شناسایی کاربری‌های مختلف ساخته و در نهایت نقشه کاربری زمین تهیه شد. طبقه‌بندی نظارت‌شده<sup>۱</sup> براساس روش حداکثر احتمال<sup>۲</sup> انجام گرفت. اساس این روش طبقه‌بندی، واریانس و کواریانس است. در نهایت در هشت طبقه به نام‌های کشاورزی، مرتعداری، باغ، جنگلداری، مسکونی، اراضی شور، اراضی بایر، و سندون<sup>۳</sup> دسته‌بندی صورت گرفت و صحت‌سنجی طبقه‌بندی از طریق دو شاخص ارزیابی دقت شامل شاخص صحت کلی<sup>۴</sup> و ضریب کاپا<sup>۵</sup> انجام پذیرفت. صحت کلی میانگینی از صحت طبقه‌بندی است که نسبت پیکسل‌های طبقه‌بندی شده به جمع کل پیکسل‌های معلوم را نشان می‌دهد و ضریب کاپا صحت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند [۱۰]. شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای لندست محاسبه می‌شود [۱۵]. تیپ خاک در چهار طبقه دسته‌بندی شد. شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص توان آبراهه دو فاکتور هیدرولوژیکی و تأثیرگذارند [۱۲]. هر دو شاخص در شش طبقه جای داده شدند و در نهایت با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، نقشه کاربری زمین به‌دست آمد.

#### مدل‌سازی خطر سیل توسط مدل EBF

مدل EBF شامل Bel یا درجه اطمینان، Dis یا درجه عدم اطمینان، Unc یا درجه عدم قطعیت و Pls یا درجه معقول بودن در محدوده بین صفر تا یک است [۱۹]. بخش اصلی این نظریه براساس درجه اطمینان و درجه معقولیت ارائه می‌شود؛ به همین دلیل، درجه معقولیت بزرگ‌تر یا مساوی درجه اطمینان است. داده‌های به‌دست‌آمده از مدل EBF نه‌تنها همبستگی بین یک عامل شرطی و سیل، بلکه همبستگی مکانی بین طبقات هر عامل شرطی را نشان می‌دهد. روابط ۱ تا ۵ توضیح می‌دهد که چگونه لایه‌ها به‌منظور تولید Bel، Dis، Unc و Pls با هم ترکیب شده‌اند [۱۲]:

$$Belief(Bel) = \frac{Bel_1 + Bel_2 + \dots + Bel_n}{\beta} \quad (1)$$

1. Supervised Classification
2. Maximum Likelihood
3. Sanddune
4. Overall Accuracy
5. Kappa coefficient

$$Disbelief(Dis) = \frac{Dis_1 + Dis_2 + \dots + Dis_n}{\beta} \quad (2)$$

$$Uncertainty(Unc) = \frac{\sum_{i=2}^n (Unc_{i-1}Unc_i + Bel_{i-1}Unc_i + Bel_iUnc_{i-1} + Dis_{i-1}Unc_i + Dis_iUnc_{i-1})}{\beta} \quad (3)$$

$$Plausibility(Pls) = Bel + Unc \quad (4)$$

$$\beta = 1 - \sum_{i=2}^n (Bel_{i-1}Dis_i - Dis_{i-1}Bel_i) \quad (5)$$

$Bel_n$  درجه کمتر اعتماد برای هر نوع عامل یا محدوده؛  $Dis_n$  درجه عدم اعتماد برای هر نوع عامل یا محدوده؛  $Unc_n$  درجه عدم قطعیت برای هر نوع عامل یا محدوده و  $n$  تعداد عوامل است. یکی از ویژگی‌های مدل EBF این است که  $Bel$ ،  $Dis$  و  $Unc$  در محدوده  $[0, 1]$  هستند و مجموع آنها ۱ است. بنابراین اگر  $Unc$  برابر با ۱ باشد،  $Bel$  و  $Dis$  صفر می‌شود و در صورتی که مجموع  $Bel$  و  $Dis$  برابر ۱ شود درجه  $Unc$  صفر است.

به منظور اعتبارسنجی نقشه پیش‌بینی خطر سیل، مجموعه نقاط اعتبارسنجی تکنیک (۶۴) نقطه، ۳۰ درصد مجموع نقاط) استفاده شد. این نقاط سیل در محیط نرم‌افزار GIS با نقشه نهایی روی هم‌گذاری شدند، سپس با استفاده از دستور Sample هر کدام از نقاط که در طبقات نقشه پیش‌بینی قرار گرفتند نمونه‌برداری شدند و بدین ترتیب صحت‌سنجی نقشه پیش‌بینی سیل انجام گرفت.

در تهیه نقشه آمایش خطرمدار، برای یکسان‌سازی فرمت، سیستم تصویر، مقیاس و اندازه پیکسل لایه معیارها و محدودیت‌ها استانداردسازی براساس دو منطق فازی (۰ تا ۱) برای معیارها و بولین (۰ یا ۱) برای محدودیت‌ها انجام گرفت. در مرحله بعد به معیارها و محدودیت‌ها براساس درجه اهمیت و تأثیر آنها در انتخاب مکان مناسب وزن داده شد. بدین منظور از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شد. در این روش یک دامنه برای مقایسه معیارها پیشنهاد شد که شامل مقادیر عددی ۱ تا ۹ می‌شود. هر یک از این اعداد نشان‌دهنده درجه اهمیت هستند، به طوری که مقدار "۱" نشان‌دهنده «اهمیت برابر» و مقدار "۹" نشان‌دهنده «اهمیت بسیار زیاد» یک شاخص نسبت به دیگری است [۵]. در ادامه ارزیابی توان برای هشت کاربری جنگلداری، مرتعداری، کشاورزی، آبی‌پروری، گردشگری گسترده، گردشگری متمرکز، حفاظت و توسعه شهری و روستایی از طریق ترکیب لایه‌های اطلاعاتی (معیار) انجام گرفت. روش ترکیب

خطی وزن دار (WLC)<sup>۱</sup> رایج‌ترین روش در تحلیل ارزیابی چندمعیاری است که برمبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است. تحلیل گر یا تصمیم‌گیرنده به‌طور مستقیم برمبنای «اهمیت نسبی» هر معیار مورد بررسی، وزن نهایی به معیارها می‌دهد. سپس از طریق ضرب کردن وزن نسبی در مقدار آن خصیصه، یک مقدار نهایی برای هر جایگزین به‌دست می‌آید. جایگزین دارای بیشترین مقدار، برای هدف مورد نظر مناسب‌تر خواهد بود. در این روش قاعده‌ی تصمیم‌گیری، مقدار هر جایگزین را به‌وسیله فرمول زیر محاسبه می‌کنند [۸]:

$$A_i = \sum_j W_j X_{ij} \quad (۶)$$

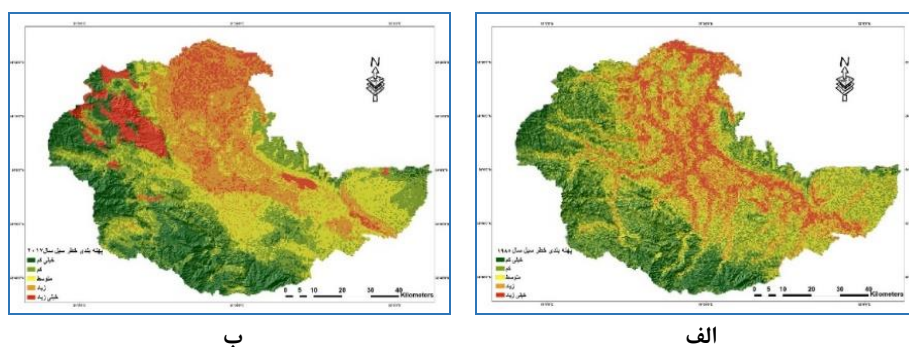
سپس با استفاده از نقشه‌های کاربری توان به‌دست‌آمده از طریق روش ترکیب خطی وزن‌دار، و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۱۷ (محدودیت) با استفاده از مدل سیستمی مخدوم نقشه آمایش خطرمدار براساس کاربری سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۱۷ تهیه شد.

#### بحث

مدل تابع شواهد قطعی دارای ۴ فاکتور درجه عدم اطمینان<sup>۲</sup>، درجه اطمینان<sup>۳</sup>، درجه عدم قطعیت<sup>۴</sup> و درجه مورد قبول بودن<sup>۵</sup> است که برای عوامل مؤثر بر سیل محاسبه شدند (جدول ۲). با روی هم‌گذاری نقشه نقاط سیل‌گیر و هر کدام از نقشه فاکتورهای مؤثر بر سیل، تعداد پیکسل‌های سیل‌گیر و فاقد سیل برای هر طبقه از فاکتورها مشخص شد. محدوده همبستگی بین عوامل مؤثر بر سیل و وقوع سیل به فاکتور Bel بستگی دارد. برای عامل زاویه شیب ۲۰-۰°، فاکتورهای درجه اطمینان و درجه عدم اطمینان به ترتیب ۰/۳۴۹ و ۰/۰۸۴ است که حاکی از احتمال زیاد وقوع سیل در این طبقه شیب است. جهت شیب، پارامتر دوم مؤثر بر سیل است که بیشترین مقدار Bel مربوط به طبقات دشت، شمال شرق، شرق و شمال (به ترتیب ۰/۱۷۷، ۰/۱۳۱ و ۰/۱۲۹) است. در مورد پارامتر انحنای زمین، مقدار زیاد درجه اطمینان و کم درجه عدم اطمینان مربوط به انحنای مقعر است (۰/۸۰۴ به ترتیب و ۰/۰۹۲). رابطه بین وقوع سیل و ارتفاع نشان می‌دهد که ارتفاع > ۱۰۰۰ متر و ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر دارای بیشترین مقادیر Bel (به ترتیب ۰/۷۸۵ و ۰/۱۱۵) است که بیانگر احتمال زیاد وقوع سیلاب در این ارتفاعات

1. Weighted linear Combination
2. disbelief
3. belief
4. uncertainty
5. plausibility

است. در مجموع نتایج نشان می‌دهد که رابطه‌ای معکوس بین ارتفاع و مقدار Bel وجود دارد. بیشترین درجه اطمینان، با توجه به وقوع سیل برای دوره سنوزوئیک در نقشه زمین‌شناسی است، اما برای دیگر طبقات صفر است. در پارامتر فاصله از رودخانه، بیشترین درجه اطمینان و کمترین درجه عدم اطمینان برای فاصله ۵۰۰-۰ متر است. نتایج نشان داد که سیل با افزایش فاصله از رودخانه کاهش پیدا می‌کند. شاخص NDVI در فاصله بین ۰/۶۹- تا ۰/۰۴- با درجه اطمینان ۰/۵۱۱ که مرتبط با مرتع و کشاورزی همراه با آبیاری است بیشترین تأثیر را بر سیل دارد. در کاربری اراضی و ۲۰۱۷ بیشترین وقوع سیل در کاربری اراضی بایر و شوره‌زار است که دلیل آن، پوشش گیاهی اندک این اراضی است. برای شاخص SPI، طبقات ۱/۷۷۹- تا ۳/۷۳۹- بیشترین پتانسیل برای سیل‌های با سرعت زیاد را دارند. بیشترین Bel و کمترین Dis برای وقوع سیل در محدوده‌ای که شاخص TWI در طبقات ۱۹/۸۴۶-۱۰/۴۲۳ و ۵/۱۴۲- ۳/۰۷۲ قرار دارد، به ترتیب ۰/۵۰۱ و ۰/۲۰۴ است. بیشترین Bel بارش سال ۱۹۸۵ به طبقه ۰/۹۱۰-۰/۷۱۲ میلی‌متر (۰/۳۵۶ Bel) و سال ۲۰۱۷ به طبقه ۰/۳۳۵-۰/۳۲۱ (۰/۳۹۱ Bel) تعلق دارد. در نهایت برای تهیه نقشه پتانسیل سیل در محدوده مطالعاتی، یازده نقشه حاصل در محیط GIS با یکدیگر تلفیق شدند و نقشه نهایی در چهار طبقه مختلف پتانسیل شامل مناطق با پتانسیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند که در شکل ۲ نشان داده شده است. براساس جدول ۱ همان‌طور که مشاهده می‌شود، از سال ۱۹۸۵ به ۲۰۱۷ به ترتیب مساحت طبقه کم و متوسط ۵/۸ و ۴/۰۷ درصد کاهش می‌یابد و بر مساحت طبقات زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۲/۲۲ و ۲/۵۴۳ درصد افزوده می‌شود که با نتایج پژوهش گودرزی و فاتحی [۹] در حوضه آذرشهرچای مطابقت دارد.



شکل ۲. پهنه‌بندی خطر سیل سال ۱۹۸۵ (الف) و سال ۲۰۱۷ (ب) در حوضه آبخیز دشت کاشان



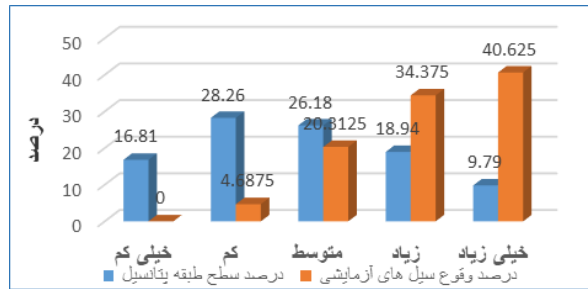
جدول ۱. مساحت و درصد طبقات پهنه‌بندی خطر سیل برای سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ میلادی (کیلومتر مربع)

طبقة پهنه‌بندی خطر	۱۹۸۵	درصد مساحت	۲۰۱۷	درصد مساحت	اختلاف (%) ۱۹۸۵-۲۰۱۷
خیلی کم	۹۳۷,۲۳۸	۱۶/۸۱۴	۱۲۲۱,۸۵۶	۲۱/۹۲۱	۵/۱۰۷
کم	۱۵۷۵,۲۳۱	۲۸/۲۶۱	۱۲۵۱,۹۷۹	۲۲/۴۶۱	-۵/۸
متوسط	۱۴۵۹,۵۲۱	۲۶/۱۸۴	۱۲۳۲,۶۳۸	۲۲/۱۱۴	-۴/۰۷
زیاد	۱۰۵۵,۹۵۱	۱۸/۹۴۴	۱۱۷۹,۶۶۹	۲۱/۱۶۴	۲/۲۲
خیلی زیاد	۵۴۶,۰۵۹	۹/۷۹۷	۶۸۷,۸۵۸	۱۲/۳۴۰	۲/۵۴۳

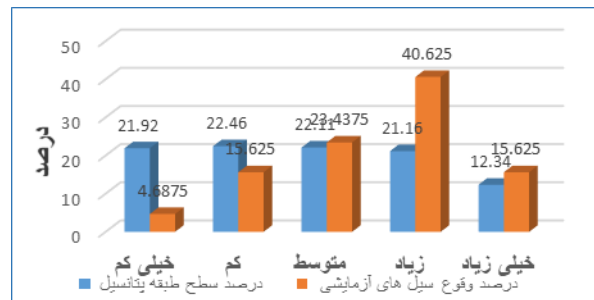
به‌منظور ارزیابی دقت نقشه‌های پیش‌بینی حساسیت سیل، از مجموع نقاط گروه اعتبارسنجی استفاده شد که نتایج آن به‌صورت هیستوگرام در شکل ۳ الف و ب ارائه شده است. تفسیر هیستوگرام به این صورت است که در محور افقی هر یک از طبقات مربوط به نقشه حساسیت قرار گرفته است و در محور عمودی درصد مساحت هر یک از طبقات و همچنین، درصد وقوع سیل‌های اتفاق افتاده در داخل هر طبقه از نقشه حساسیت سیل درج شده است. با توجه به اینکه ۶۴ نقطه انتخاب شده برای صحت‌سنجی در واقع نشان‌دهنده شرایط وقوع سیل هستند، احتمال حضور این نقاط در طبقه‌های با حساسیت بیشتر (طبقه‌های خیلی زیاد و زیاد) و حتی در طبقه متوسط بیشتر است. با توجه به شکل ۴ الف و ب مشخص می‌شود که احتمال حضور نقاط سیل گیر گروه اعتبارسنجی داده‌ها برای سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۱۷ در طبقه خیلی زیاد به ترتیب ۴۰/۶۲۵، ۱۵/۶۲۵ درصد و در طبقه خیلی کم برای سال ۱۹۸۵ صفر و سال ۲۰۱۷، ۴/۶۸۷ درصد است. درحالی که هر کدام از طبقات خیلی زیاد و خیلی کم گروه نقاط پتانسیل سیل به ترتیب برای سال ۱۹۸۵ (۹/۷۹۶، ۱۶/۸۱۴) و سال ۲۰۱۷ (۱۲/۳۴۰، ۲۱/۹۲۰) درصد از مساحت کل را شامل می‌شوند.

در برنامه آمایش خطرمدار پیش‌بینی شده براساس کاربری سال ۱۹۸۵، بیشترین درصد مساحت را کاربری حفاظت به میزان ۶۹/۰۷۳ درصد را داراست و بعد از آن کاربری مرتعداری با طبقه توان متوسط و کم (مرتعداری درجه ۳ و ۴) است (۱۳/۳۸ درصد و ۱۱/۲۴۲ درصد). کمترین درصد مساحت را کاربری کشاورزی متوسط یا درجه ۳ (۰/۰۵۱ درصد) شامل می‌شود. در نقشه آمایش خطرمدار براساس کاربری سال ۲۰۱۷ نشان می‌دهد که بیشترین درصد مساحت متعلق به کاربری‌های حفاظت و مرتعداری کم و بعد از آن مرتعداری متوسط است (به ترتیب ۶۸/۶۸۷ درصد، ۲۰/۸۳۹ درصد و ۹/۷۷۲ درصد). کمترین سهم درصد مساحت را کاربری کشاورزی با طبقه توان متوسط به میزان ۰/۰۱۴ درصد داراست. براساس نقشه خطر

سیل سال و ۲۰۱۷ مساحت طبقه زیاد و خیلی زیاد سیل بیشترین مساحت از پهنه حوضه را شامل می‌شود که حاکی از لزوم اولویت کاربری حفاظت در سناریوی مدیریت آمایش خطرمدار است (شکل ۴ و جدول‌های ۲ و ۳).

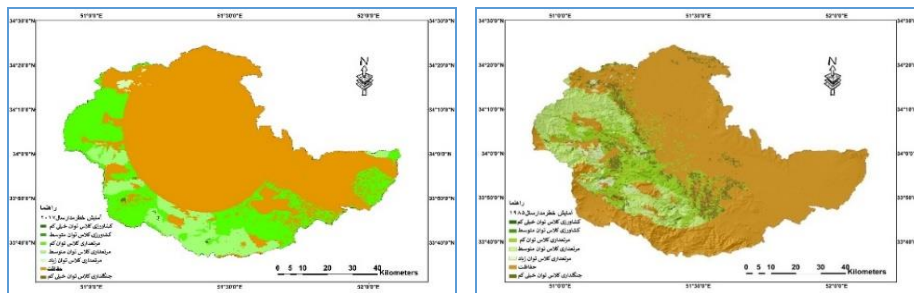


الف



ب

شکل ۳. هیستوگرام ارزیابی صحت نقشه پهنه‌بندی خطر سیل: الف) در سال ۱۹۸۵ و ب) در سال ۲۰۱۷ در حوضه آبخیز دشت کاشان



ب

الف

شکل ۴. نقشه آمایش خطرمدار: الف) آمایش خطرمدار براساس کاربری سال ۱۹۸۵، ب) آمایش خطرمدار براساس کاربری سال ۲۰۱۷

جدول ۲. درصد و مساحت طبقات مختلف کاربری‌های پیشنهادی آمایش خطرمدار بر اساس کاربری سال ۱۹۸۵ حوضه دشت کاشان

ردیف	اولویت کاربری	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	تعداد پولیگون
۱	حفاظت	۶۹/۰۷۳	۳۸۵۰,۱۰۸	۱۵۷۳
۲	جنگلداری طبقه خیلی کم	۴/۷۷۵	۲۶۶,۱۸۳	۹۶
۳	کشاورزی طبقه متوسط	۰/۰۵۱	۲,۸۲۰	۵
۴	کشاورزی طبقه خیلی کم	۰/۱۵۲	۸/۴۶۴	۱۴
۵	مرتعداری طبقه زیاد	۱/۳۲۸	۷۴	۴۱
۶	مرتعداری طبقه متوسط	۱۲/۳۸۰	۷۴۵/۷۸۴	۱۴۴
۷	مرتعداری طبقه کم	۱۱/۲۴۲	۶۲۶,۶۴۱	۲۶۵
	مجموع	۱۰۰	۵۵۷۴	۲۱۳۸

جدول ۳. درصد و مساحت طبقات مختلف کاربری‌های پیشنهادی آمایش خطرمدار بر اساس کاربری سال ۲۰۱۷ حوضه دشت کاشان

ردیف	اولویت کاربری	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	تعداد پولیگون
۱	حفاظت	۶۸,۶۸۷	۳۸۲۸,۶۳۱	۱۲۹۲
۲	جنگلداری طبقه خیلی کم	۰,۰۴۴	۲,۴۲۴	۲
۳	کشاورزی طبقه متوسط	۰,۰۱۴	۰,۷۶۸	۱
۴	کشاورزی طبقه خیلی کم	۰,۳۲۰	۱۷,۸۱۷	۱۴
۵	مرتعداری طبقه زیاد	۰,۳۲۴	۱۸,۰۶۹	۲۱
۶	مرتعداری طبقه متوسط	۹,۷۷۲	۵۴۴,۷۰۶	۸۰
۷	مرتعداری طبقه کم	۲۰,۸۳۹	۱۱۶۱,۵۸۵	۲۷۷
	مجموع	۱۰۰	۵۵۷۴	۱۶۸۷

### نتیجه‌گیری

با توجه به وقوع سیلاب و خسارت‌های فراوان در سال‌های اخیر در آبخیز دشت کاشان، در این مطالعه به منظور تهیه نقشه پهنه خطر سیل از مدل EBF استفاده شد و نقشه احتمال خطر سیل برای دو کاربری سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۱۷ تهیه شد. سپس به منظور مدیریت خطر سیل، رویکرد جدید مدیریتی آمایش خطرمدار ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد با اینکه از ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۷ بارش کاهش پیدا کرد، سیلاب‌ها در این دوره به‌خصوص در اطراف شهر کاشان و آران و بیدگل و روستاهای اطراف افزایش یافت که براساس نتایج تحقیق مزیدی و خوش‌روش در

حوضه گرگانرود [۱۱]، افزایش بارش‌های حدی با شدت بیشتر به علت تغییر اقلیم در این وضعیت مؤثر است. براساس نقشه‌های آمایش خطر مدار، کاربری حفاظت بیشترین درصد مساحت را داراست؛ بنابراین شناخت پهنه خطر سیل و استفاده از رویکرد آمایش سرزمین خطرمدار در مدیریت بهتر حوضه آبخیز نقش مؤثرتری دارد. از این‌رو با در نظر گرفتن مناطق خطر، امکان فعالیت‌های مدیریتی و اولویت‌بندی مناطق براساس مناطقی که در طبقه خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند، است که با نتایج پژوهش گودرزی و فاتحی‌فر [۹] در حوضه آذرشهرچای مطابقت دارد. نقشه پیش‌بینی استعداد سیل، هیستوگرام‌های مربوط تأییدکننده مدل شاهد توابع قطعی در تعیین نقشه پهنه‌بندی خطر سیل منطقه تحقیق است. نتایج این بخش از تحقیق با یافته‌های دارابی و همکاران [۴] در حوضه آبخیز پل دوآب سازند همخوانی دارد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت بلایای طبیعی مبتنی بر سازگاری با تغییر اقلیم؛ مهار تغییر کاربری اراضی غیرقانونی در آمایش خطرمدار، حوضه دشت کاشان را به سمت توسعه پایدار سوق می‌دهد. براساس نتایج، در آینده شرایط وخیم‌تری در منطقه حاکم خواهد شد؛ از این‌رو پیشنهاد می‌شود سازمان‌های مرتبط در برنامه‌ریزی‌های خود، پیشگیری از سیل را مورد توجه قرار دهند و تدوین برنامه آمایش خطرمدار را در اولویت برنامه‌های خود قرار دهند.

## منابع

- [۱]. اوق، مجید (۱۳۸۸). «الزامات آمایشی مدیریت پایدار خطرات طبیعی در مقیاس آبخیز: یک مدل خطرمدار پیشنهادی»، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی)، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۳-۲ اردیبهشت.
- [۲]. پریسای، زهرا؛ اوق، مجید؛ بردی شیخ، واحد؛ و بهره‌مند، عبدالرضا (۱۳۹۶). «ارزیابی اثر سناریوی کاربری آمایشی در خطر و خسارت سیل حوضه آبخیز سد بوستان»، مدیریت بحران، دوره ۶، ش ۱۱: ۱۴۳-۱۳۳.
- [۳]. حسام، رسول؛ ضرابی، اصغر؛ و تقوایی، مسعود (۱۳۹۸). «پتانسیل‌سنجی خطر سیلاب شهری با رویکرد توسعه شهری ایمن (مطالعه موردی: شهر گنبد کاووس)»، مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)، ۶(۱)، ص ۳۲-۱۷.
- [۴]. دارابی، حمید؛ شاهدی، کاکا؛ و مردیان، مهدی (۱۳۹۵). «تهیه نقشه‌های خطر احتمال و حساسیت سیل با استفاده از روش نسبت فراوانی در حوزه آبخیز پل دوآب سازند»، نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۸، ش ۱، ص ۷۹-۶۸.

- [۵]. رجبی، محمدرضا؛ منصوریان، علی؛ طالعی، محمد (۱۳۹۰). مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP، AHP\_OWA و Fuzzy AHP\_OWA برای مکان‌یابی مجتمع‌های مسکونی در شهر تبریز، محیط‌شناسی، سال ۳۷، ش ۵۷، ص ۷۷-۹۲.
- [۶]. سپهری، مهدی؛ ایلدرومی، علی‌رضا؛ فرخزاده، بهنوش؛ و نوری، حمید (۱۳۹۴). «ارزیابی ریسک سیل در شهر تاریخی همدان، کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی»، تهران - مؤسسه آموزش عالی نیکان، دانشگاه تهران.
- [۷]. سعدالدین، امیر (۱۳۸۸). تجزیه و تحلیل سناریوهای: مدیریتی یک پروتوتیپ سیستم پشتیبان تصمیم شبکه‌های بی‌زین برای مدیریت شوری. پنجمین همایش ملی علوم مهندسی منابع آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی)، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۲-۳ اردیبهشت.
- [۸]. کرم، عبدالامیر (۱۳۸۳). «کاربرد مدل ترکیب خطی وزین (WLC) در پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش. مطالعه موردی؛ منطقه سرخون در استان چهارمحال و بختیاری»، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۲، ش ۴، ص ۱۴۶-۱۳۱.
- [۹]. گودرزی، محمدرضا؛ و فاتحی‌فر، آتیه (۱۳۹۸). «پهنه‌بندی خطر سیلاب در اثر تغییرات اقلیمی تحت سناریو RCP8.5 با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در محیط GIS (حوضه آذرشهرچای)»، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۹، ش ۵۳، ص ۹۹-۱۱۷.
- [۱۰]. محمدی، شاهین؛ حبشی، خلیل؛ و پورمنافی، سعید (۱۳۹۷). «پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری/ پوشش اراضی و ارتباط آن با خشکسالی (مطالعه موردی: زیرحوضه پارسل B<sub>2</sub> حوضه آبخیز زاینده‌رود)»، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۹، ش ۱، ص ۳۹-۲۴.
- [۱۱]. مزیدی، مریم؛ و خوش‌روش، مجتبی (۱۳۹۵). «تأثیر تغییر اقلیم بر فراوانی سیل حوضه گرگانرود با استفاده از آنالیز مرتبه اول مدل هیدرولوژیکی بارش-رواناب»، نشریه پژوهش‌های کاربردی علوم آب، سال دوم، ش ۲، ص ۴۴-۳۵.
- [۱۲]. نوحانی، ابراهیم؛ معروفی‌نیا، ادريس؛ و خسروی، خهبات (۱۳۹۶). پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی دشت الشتر توسط مدل تابع شواهد قطعی، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ش ۴، ج ۱۱، ص ۷۰۷-۶۹۸.

- [13]. Glavovic, B. C; Saunders, W. S. A; Becker, J. S. (2010). "Land-use planning for natural hazards in New Zealand: the setting, barriers, 'burning issues' and priority actions", *Natural Hazards*, 54(3), pp: 679-706. <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9494-9>
- [14]. Khosravi, Khabat; Nohani, Ebrahim; Maroufinia, Edris; Prakash, Indra; & Tien Bu, Dieu (2016). "A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling at Haraz watershed, northern Iran", *Science of the total environment*, 627, pp: 744-755.
- [15]. Khosravi, Khabat; Nohani, Ebrahim; Maroufinia, Edris; & Pourghasemi, Hamid Reza (2016). "A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique", *Natural Hazards*, 83(2), pp: 947-987.
- [16]. Khosravi, Khabat.; Panahi, Mahdi.; BinAhmad, Baharin.; & Saro, Lee (2018). "Land Susceptibility Mapping in South Korea Using Machine Learning Algorithms", *Sensors*, 18, 2464, pp: 1-20. doi:10.3390/s18082464
- [17]. Lee, M.-J.; Kang, J.-E.; Jeon, S. (2012). "Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS", 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, pp: 895-898.
- [18]. Li, Zh.; Liu, W.zh.; Zhang, X.ch.; Li, Zh.; Liu, W.zh.; Zhang, X.ch.; & Li zheng, F. (2009). "Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China", *Journal of Hydrology*, 377(1-2), pp: 35-42.
- [19]. LIU, Yue.; Cheng, Qiuming.; XIA, Qinglin.; Wang, Xinqing, Wang (2014). "The use of evidential belief functions for mineral potential mapping in the Nanling belt, South China", *Front Earth Science*, Vol 9, Issue 2: 342-  
<https://doi.org/10.1007/s11707-014-0465-4>
- [20]. Malekian, Arash; & Azarnivand, Ali. (2016). "Application of Integrated Shannon's Entropy and VIKOR Techniques in Prioritization of Flood Risk in the Shemshak Watershed, Iran", *Water Resources Management*, 30(1), pp: 409-425. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1169-6>
- [21]. Niehoff, D.; Fritsch, U.; Bronstert, A. (2002). "Land-use impacts on storm-runoff generation: scenarios of land-use change and simulation of hydrological response in a meso-scale catchment in SWGermany", *Journal of Hydrology*, 267(1-2), pp: 80-93
- [22]. Rahmati, Omid; Pourghasemi, Hamid Reza; & Zeinivand, Hossein. (2016). "Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran", *Geocarto International*, 31(1), pp: 42-70. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1041559>
- [23]. Rahmati, Omid; Zeinivand, Hossein; & Besharat, Mosa. (2016). "Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis",

- [24]. Shafapour Tehrany M.; Shabani F.; Neamah Jebur M.; Hong H.; Chen, W.; & Xie, X. (2017). "GIS- based spatial prediction of flood prone areas using standalone frequency ratio, logistic regression, weight of evidence and their ensemble techniques", *Geomat Nat Hazard Risk*, 8, pp:1538–1561.
- [25]. Shi, Pei-Jun; Yuan, Yi; Zheng, Jing; Wang, Jing-Ai; Ge, Yi; & Qiu, Guo-Yu. (2007). "The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region, China", *CATENA*, 69(1), pp:31-35. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.04.015>
- [26]. Siahkamari, Safura; Haghizadeh, Ali; Zeinivand, Hossein; Tahmasebipour Naser; & Rahmati, Omid. (2018). "Spatial prediction of flood-susceptible areas using frequency ratio and maximum entropy models", *Journal of Geocarto International*, Vol33, Issue9, pp:927-941. <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1316780>
- [27]. Youssef, A.M.; Pradhan, B.; Pourghasemi, H.R.; & Abdullahi, S., (2015), "Landslide susceptibility assessment at Wadi Jawrah Basin, Jizan region, Saudi Arabia using two bivariate models in GIS", *Geosci. J.* 19, 449.
- [28]. Youssef, A.M.; Pradhan, B.; & Sefry, S.A. (2016). "Flash flood susceptibility assessment in Jeddah city (Kingdom of Saudi Arabia) using bivariate and multivariate statistical models. Environ", *Earth Sci.* 75, 12.