

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۷، زمستان ۱۳۹۷، صص ۱۸۳-۱۶۳

وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۲۱ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۱۷

## شناسایی و رتبه‌بندی مناطق تحت خطر سیل در مخروط افکنه‌های شمال ایزده، استان خوزستان

رضا اسماعیلی<sup>\*۱</sup>

مریم قریشوندی<sup>۲</sup>

عیسی جوکار سرهنگی<sup>۳</sup>

### چکیده

سیل یکی از مهم‌ترین مخاطراتی است که در مخروط افکنه‌ها ایجاد می‌شود و تحلیل آن با پیچیدگی‌های زیادی همراه است. از طرفی دیگر تعداد زیادی از شهرها و روستاهای ایران بر روی مخروط افکنه‌ها واقع شده‌اند و بالقوه در خطر وقوع سیلاب قرار دارند. در این تحقیق خطر سیل در مخروط افکنه‌های شمال ایزده در استان خوزستان مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق ابتدا سیستم حوضه - مخروط افکنه در محدوده‌ی مورد مطالعه مشخص شد و کار در سه گام اصلی به انجام رسید. گام اول، شناسایی قسمت‌های فعال مخروط افکنه‌ها با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی، گام دوم، تحلیل مقدار و مدت بارندگی، تخمین رواناب، دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج سیلاب و گام سوم، رتبه‌بندی مناطق خطر با روش تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ی تاپسیس. تحلیل نهایی بر اساس چهار متغیر مساحت مخروط افکنه‌ی فعال، مساحت روستاهای مستقر در مخروط‌های فعال، دبی اوج سیل و مدت زمان رسیدن به دبی اوج سیلاب. تقریباً نود درصد مخروط افکنه‌های منطقه حالت تحمیلی داشته و رأس توپوگرافیک با نقطه‌ی تقاطع یکسان داشته است. مخروط افکنه‌های ۲ و ۵ با ضریب نزدیکی ۱ و ۰/۴۴۸ به ترتیب در رتبه‌ها اول و دوم خطر سیلاب در منطقه قرار گرفتند. دو متغیر مساحت

E-mail: r.esmaili@umz.ac.ir

۱- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران (نویسنده‌ی مسئول).

۲- کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

۳- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

مخروط افکنه و مساحت روستاهای واقع بر آن‌ها هفتادوهفت درصد وزن تأثیرگذاری را در رتبه‌بندی خطر سیلاب داشته‌اند.

**کلمات کلیدی:** سیلاب، مخروط افکنه، تاپسیس، ایذه، خوزستان.

### مقدمه

سیلاب‌ها پدیده‌های طبیعی هستند که از جنبه‌های هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی و اکولوژیکی اهمیت دارند. کاربرد ژئومورفولوژی در مطالعات خطر سیل به سه گروه اصلی تقسیم می‌شود (بنیتو<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳: ۲۴۴) که عبارتند از: ۱- هیدرولوژی دیرینه سیلاب با تمرکز بر آثار گسترش سیل در گذشته بر اساس شواهد رسوبات و لندفرم‌ها ۲- نقشه‌برداری هیدرومورفولوژیکی کانال و لندفرم‌های دشت سیلابی ۳- کمی‌سازی فرایندهای مورفودینامیک و تکامل لندفرم (مانند مهاجرت کانال در واکنش به حوادث سیل). مخروط افکنه‌ها لندفرم‌های رسوبی ژئومورفیک هستند که معمولاً در پیشانی کوهستان‌ها (محل خروج رودخانه از کوهستان) جایی که قدرت رود کاهش می‌یابد، تشکیل می‌شوند (گودی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴: ۱۵). اصطلاح سیلاب مخروط افکنه‌ای در ابتدا به وسیله‌ی شورای تحقیقات ملی آمریکا<sup>۳</sup> (۲۰۰۰) مطرح شد و فقط به نوع خاصی از سیلاب که فقط بر روی مخروط افکنه‌ها رخ می‌دهد اطلاق می‌شود. بیشتر سیلاب‌های مخروط افکنه‌ای به علت رگبارهای شدید تابستانی ایجاد می‌شوند. این سیلاب‌ها در مخروط افکنه‌ها با ویژگی‌های چون سرعت جریان بالا، مسیرهای جریانی مختلف و فرایندهای بسیار فعال فرسایشی، حمل و رسوب‌گذاری همراه هستند (مقصودی و محمدنژاد، ۱۳۹۰: ۱۷۵).

1- Benito

2- Goudie

3- USA's National Research Council (NRC)

سازمان مدیریت بحران فدرال<sup>۱</sup> (۲۰۰۰: ۴)، سه مرحله را برای مشخص نمودن خطر سیل در مخروط افکنه‌ها پیشنهاد نموده است: مرحله‌ی اول، شناسایی لندفرم مخروط افکنه، مرحله‌ی دوم: مشخص نمودن سطح مخروط افکنه و مناطق فرسایشی و نهشته‌گذاری فعال و مرحله‌ی سوم: مشخص نمودن مناطق با احتمال وقوع سیل ۱۰۰ ساله.

مطالعات ژئومورفولوژیکی مخروط افکنه‌ها از دهه‌ی ۱۹۶۰ شروع شد (هاروی<sup>۲</sup>، ۲۰۱۸: ۲). بیشتر این مطالعات بر روابط مورفولوژی مخروط و رسوبات با عوامل کنترل‌کننده‌ی توسعه‌ی آن‌ها شامل تکتونیک، کنترل‌های اقلیمی و تغییرات سطح اساس متمرکز شده است (مقصودی، ۱۳۸۷؛ مختاری، ۱۳۸۸؛ یمانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ گورابی و کریمی، ۱۳۹۱؛ شایان و همکاران، ۱۳۹۲؛ جمال‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۳؛ محمدنژاد و اصغری، ۱۳۹۴؛ ثقفی و همکاران، ۱۳۹۵؛ یمانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ جوکار سرهنگی و همکاران، ۱۳۹۵؛ مددی و همکاران، ۱۳۹۵؛ موسوی و همکاران، ۱۳۹۶؛ نصرتی و همکاران، ۱۳۹۷).

سانتانگلو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۱) با استفاده از آنالیز ژئومورفولوژیکی، مخروط‌های آبرفتی فعال را در جنوب ایتالیا شناسایی نموده و بر اساس روابط مورفومتریک شیب کانال اصلی حوضه و طول مخروط افکنه و هم‌چنین شواهد رسوب‌شناسی مورد بررسی قرار دادند و بر این اساس فرایندهای غالب در ایجاد مخروط افکنه‌ها یعنی جریان‌های واریزه‌ای و جریان‌های سیلابی را تحلیل نمودند.

بهرامی و بهرامی (۱۳۹۰) قسمت‌های فعال و غیرفعال چهار مخروط افکنه را در زاگرس چین‌خورده از نظر سیل‌خیزی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که شاخص‌های ژئومورفیک مانند الگوی زهکشی، مورفولوژی سطح مخروط، شاخص‌های

1- Federal Emergency Management Agency (FEMA)

2- Harvey

3- Santangelo et al.,

هوازدگی و غیره ابزار مناسبی جهت تفکیک مناطق فعال و غیرفعال مخروط افکنه‌ها از نظر سیل‌خیزی هستند.

سانتو و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۵) وقوع سیلاب‌های ناگهانی را ماسیف مارزانو (آپنین جنوبی در ایتالیا) مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها با استفاده از روابط مورفومتریک حوضه مخروط و ویژگی‌های مورفولوژیکی آن‌ها، اثرات و گسترش سیلاب اکتبر ۲۰۱۱ را بر روی مخروط افکنه‌ها تحلیل نمودند.

اسکورپیو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۶) تهیه نقشه‌ی ژئومورفولوژی از مخروط افکنه‌ها را با مقیاس‌های مختلف برای مطالعات سیل مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که نقشه‌های متوسط مقیاس بهترین ابزار برای شناسایی مناطق حساس به سیلاب در سطح منطقه‌ای هستند. این نقشه‌ها اطلاعات مهمی را در سطح منطقه‌ای و شناسایی مناطق حساس فراهم می‌آورد و در صورت نیاز به جزئیات بیشتر می‌توان از نقشه‌های بزرگ مقیاس ژئومورفولوژیکی استفاده نمود.

کاین و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۸) با استفاده از مورفومتری حوضه، تصاویر هوایی، تهیه‌ی نقشه از لیدار<sup>۴</sup> و مدل‌سازی هیدرولیکی دوبعدی اثرات سیل و رسوب‌گذاری را در مخروط افکنه‌های منطقه‌ی کاوساید تاسمانی بررسی کردند. نتیجه کار آن‌ها نشان می‌دهد که ترکیب مدل‌سازی هیدرولیکی و تحلیل‌های ژئومورفیک می‌تواند به عنوان ابزار مناسبی برای مدیریت خطر سیل در مخروط افکنه‌ها به کار گرفته شود.

تعداد زیادی از مناطق روستایی و شهری کشور ایران در مناطق پایکوهی و مخروط افکنه‌ها قرار گرفته‌اند و بالقوه مورد تهدید خطر سیلاب هستند. لذا شناسایی مناطق پرخطر سیل در مقیاس‌های مختلف می‌تواند در مدیریت این مناطق کارساز باشد.

1- Santo et al.,

2- Scorpio et al.,

3- Kain et al.,

4- Lidar et al.,

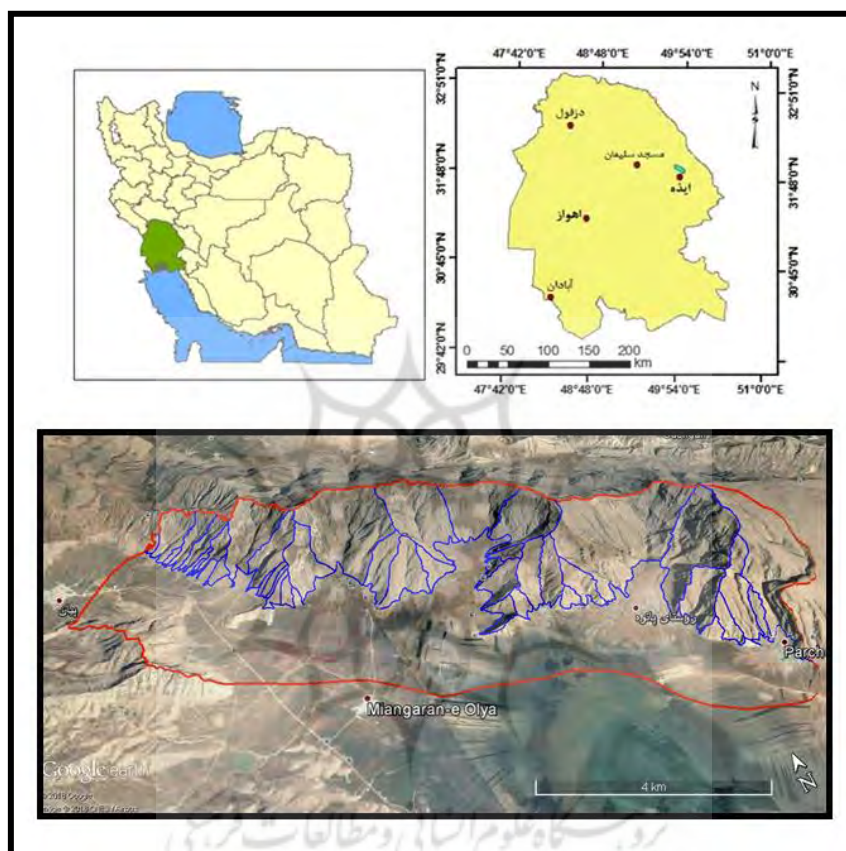
این تحقیق با هدف تخمین سیلاب‌های ناگهانی در مخروط افکنه‌های شمالی شهر ایذه و شناسایی مناطق بالقوه خطرناک از نظر سیل‌گیری و اولویت‌بندی آن‌ها جهت امور مدیریتی انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

### – منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه با مساحت ۷۵ کیلومتر مربع در شمال شهر ایذه و تالاب میانگران قرار دارد. منطقه‌ی مورد مطالعه بین عرض‌های جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی تا ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و بین طول‌های جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی تا ۴۹ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی قرار دارد (شکل ۱). زمین‌شناسی منطقه در زون زاگرس چین‌خورده قرار دارد که ۹ درصد آن مربوط به گروه بنگستان تفکیک نشده (شامل سازندهای کژدمی، سروک، سورگه و ایلام) و ۱۹ درصد آن مربوط به گروه خامی (شامل سازندهای هیث و سورمه از دوره‌ی ژوراسیک و سازندهای فلهیان، گدوان و داریان) است. تقریباً ۷۰ درصد منطقه از نهشته‌های کواترنری تشکیل شده است. ارتفاع متوسط منطقه ۱۴۷۰ متر محاسبه شده است. متوسط بارش در منطقه با توجه به داده‌های ایستگاه ایذه ۶۳۷ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۲۳ درجه سانتی‌گراد است.

وجود مخروط افکنه‌ها موجب شکل‌گیری روستاهای مختلفی در منطقه‌ی مورد مطالعه شده است. روستاهای این منطقه شامل ۹ روستا به نام‌های پرچستان اورک و شالو، پرچستان گورویی، پرچستان فاضل، خُنگ اژدر، قلعه کژدمک، پرچستان علی حسین مولا، خُنگ کمال وند، خُنگ یارعلی وند، خُنگ کرمعلی وند است که در بخش مرکزی ایذه قرار دارند. جمعیت کل این روستاها ۳۸۴۳ نفر است.

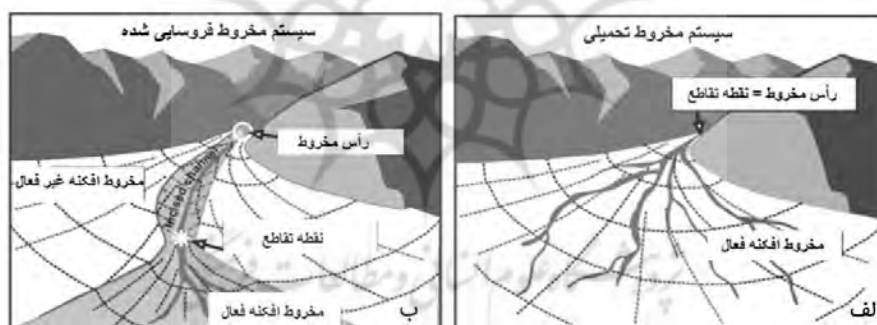


شکل (۱) موقعیت حوضه‌ها و مخروط افکنه‌های شمال ایذه

مرز حوضه‌های آبریز و مخروط افکنه‌ها با استفاده از تصاویر گوگل ارث سال ۲۰۱۶ تفکیک و ترسیم گردید. پتانسیل خطر سیل طی سه گام اصلی مورد بررسی قرار گرفت که عبارتند از: ۱- شناسایی مناطق فعال و غیرفعال مخروط افکنه‌ها ۲- برآورد میزان رواناب و دبی با روش SCS ۳- رتبه‌بندی مناطق خطر با روش تاپسیس<sup>۱</sup> (TOPSIS).

1- Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

شناسایی مناطق فعال و غیرفعال مخروط افکنه‌ها: فرارگیری کانال رود در مخروط افکنه‌ها ممکن است به دو صورت تحمیلی<sup>۱</sup> و یا فروسایبی<sup>۲</sup> شده باشد (سانتانگلو و همکاران، ۲۰۱۱: ۴). در حالت تحمیلی، کانال رود از رأس مخروط افکنه هم‌سطح است (شکل ۲ الف) که در این صورت مخروط از رأس به صورت فعال است. در حالت فروسایبی شده‌ی رودخانه سطح مخروط را به صورت عمقی فرسایش داده و نقاط رأس و تقاطع با هم یکی نیستند (شکل ۲ ب). نقطه‌ی تقاطع، جایی است که رودخانه با سطح مخروط افکنه تماس پیدا می‌کند (مقصودی و محمدنژاد، ۱۳۹۰: ۲۴). در این صورت، منطقه‌ی فعال در ادامه مخروط و بعد از نقطه‌ی تقاطع شروع می‌شود. از این رو برای شناسایی مناطق فعال و غیرفعال مخروط افکنه از شاخص‌های ژئومورفیکی شامل نقطه تقاطع مخروط، الگوی زهکشی گیسویی و نیمرخ توپوگرافی مخروط افکنه استفاده شد.



شکل (۲) الف) سیستم مخروط افکنه تحمیلی، ب) سیستم مخروط فروسایبی شده (سانتانگلو، ۲۰۱۱: ۴)

برآورد ارتفاع رواناب و دبی با روش SCS : در روش SCS برای تخمین مقدار رواناب نیاز به داده‌هایی شامل مقدار بارش ساعتی، ویژگی‌های هیدرولوژیک خاک، وضعیت بهره‌برداری از زمین و شرایط رطوبت پیشین خاک است (مهدوی، ۱۳۸۶). در اینجا

1- Superimposed  
2- Incised

برای محاسبه مقدار-مدت بارش در دوره‌ی بازگشت‌های مختلف از روش قهرمان و آبخضر (۱۳۸۳) استفاده شد. رابطه‌ی (۱) پارامترهای قابل محاسبه را نشان می‌دهند.

$$R_t^T = At^B [a_1 + a_2 * \ln(T - a_3)] R_{60}^{10} \quad (۱) \text{ رابطه‌ی (۱)}$$

که  $R_t^T$ : بارش با دوره بازگشت و زمان موردنظر است،  $T$  دوره بازگشت و  $t$  زمان به دقیقه است.  $a_1, a_2, a_3, A$  و  $B$  ضرایب ثابت هستند که در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند.  $R_{60}^{10}$  بارش برای دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله و زمان ۶۰ دقیقه است، برای به دست آوردن  $R_{60}^{10}$  از رابطه‌ی (۲) استفاده شد.

$$R_{60}^{10} = e^{2.49} * map^{-0.633} * (R_{1440}^2)^{1.16} \quad (۲) \text{ رابطه‌ی (۲)}$$

که در این رابطه،  $e$  عدد نپر با مقدار  $۲/۷۱$ ،  $map$  میانگین بارش سالانه به میلی‌متر است و  $R_{1440}^2$  میانگین حداکثر بارش روزانه است (قهرمان و آبخضر، ۱۳۸۳: ۳).

جدول (۱) ضرایب ثابت  $A$  و  $B$ ، برای مقدار-مدت بارش (قهرمان و آبخضر، ۱۳۸۳: ۷)

B	A	زمان
۰/۴۹۵۲	۰/۱۲۹۹	$\leq 1$
۰/۴۷۷۸	۰/۱۳۷۲	$\leq 2$
۰/۴۳۶۱	۰/۱۵۸۹	$\leq 9$

جدول (۲) ضرایب ثابت  $a_1, a_2, a_3$  در رابطه ۱ (قهرمان و آبخضر، ۱۳۸۳: ۸)

پارامتر	$\leq 2$	$> 2$
$a_1$	۰/۴۶۸۰	۰/۵۵۶۵
$a_2$	۰/۲۳۴۹	۰/۱۹۴۸
$a_3$	۰/۶۲	۰/۸

لایه‌های اطلاعاتی خاک‌شناسی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی از نقشه‌های اداره‌ی کل منابع طبیعی استان خوزستان تهیه شد. با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مذکور مقادیر



شماره‌ی منحنی (CN) برای حوضه‌های مختلف و به صورت میانگین وزنی محاسبه گردید. پس از محاسبه‌ی مقادیر رواناب در هر حوضه، مقادیر دبی اوج با استفاده از رابطه‌ی (۳) تخمین زده شد (روی و میستری<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳؛ چاو، ۱۹۶۴).

$$q_p = 0.208 \left( \frac{A \cdot Q}{T_p} \right) \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

که  $q_p$ : مقدار دبی اوج به مترمکعب در ثانیه،  $A$ : مساحت حوضه‌ی زهکشی به کیلومترمربع،  $Q$ : بارش مازاد به میلی‌متر و  $T_p$ : زمان تا اوج هیدروگراف واحد رواناب است. در این معادله فقط پارامتر زمان رسیدن تا اوج مجهول است که می‌توان آن را بر حسب زمان تمرکز ( $T_c$ ) و رابطه‌ی (۴) محاسبه نمود:

$$T_p = 0.7 T_c \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

که برای محاسبه‌ی زمان تمرکز از روش کریچ استفاده شده است. از این رو، با استفاده از داده‌های مساحت حوضه، میانگین بارش و مدت آن، شماره‌ی منحنی، طول رود و شیب آن مقادیر دبی اوج و زمان آن برای دوره‌ی بازگشت‌های مختلف محاسبه گردید.

مدل تاپسیس: یکی از معروف‌ترین مدل تصمیم‌گیری چندشاخصه<sup>۲</sup> مدل تاپسیس است که توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ پیشنهاد گردید. در روش تاپسیس، ماتریس  $n \times m$  تصمیم‌گیری که  $m$  گزینه و  $n$  معیار دارد، ارزیابی می‌شود و فرض بر این است که هر شاخص و معیار در ماتریس تصمیم‌گیری مطلوبیت افزایشی یا کاهش‌ی یکنواخت دارد (پورطاهری، ۱۳۸۹: ۱۱۸). اساس این تکنیک، بر این مفهوم استوار است که گزینه‌ی انتخابی، باید کمترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد.

1- Roy and Mistri

2- Multiple Attribute Decision Making (MADM)

روش تاپسیس طی مراحل زیر انجام گرفته است<sup>۱</sup> (مؤمنی ۱۳۹۲: ۳۴):

- ۱- بی‌مقیاس‌سازی و از بین بردن تأثیر واحد به روش نورم؛
- ۲- به دست آوردن وزن هر یک از معیارها با استفاده از روش وزن‌دهی آنتروپی شانون؛
- ۳- ضرب هریک از این وزن‌ها به ماتریس بی‌مقیاس شده که در نتیجه آن ماتریس بی‌مقیاس موزون به دست می‌آید و ماتریس بی‌مقیاس شده به ماتریس قطری وزن‌ها ضرب می‌گردد.
- ۴- تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی از طریق رابطه‌ی زیر:  

$$\text{بردار بهترین مقادیر هر شاخص ماتریس } [V] = \text{راه‌حل ایده‌آل مثبت } (Vj^+)$$

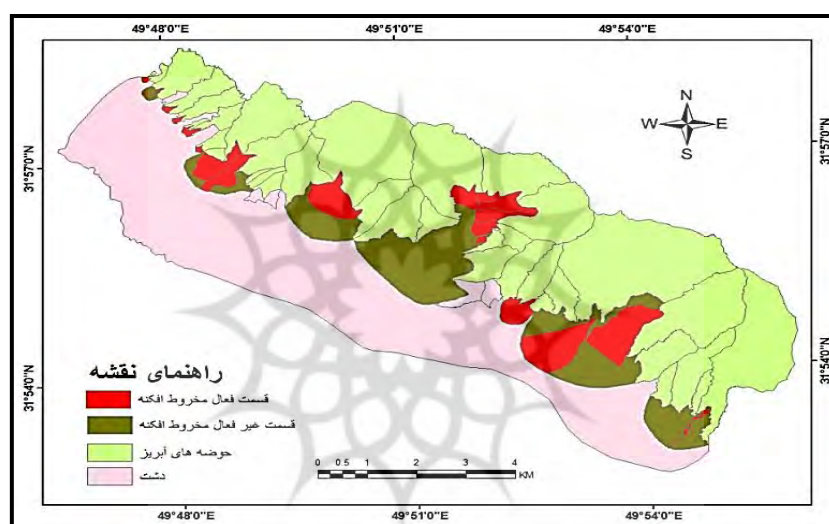
$$\text{بردار بدترین مقادیر هر شاخص ماتریس } [V] = \text{راه‌حل ایده‌آل منفی } (Vj^-)$$
 بهترین مقادیر برای شاخص‌های مثبت، بزرگ‌ترین مقادیر و برای منفی کوچک‌ترین مقادیر است. و بدترین بردار برای شاخص‌های مثبت کوچک‌ترین مقدار و برای شاخص‌های منفی بزرگ‌ترین مقدار است.
- ۵- محاسبه‌ی فاصله‌ی هر گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی
- ۶- تعیین نزدیکی نسبی یک گزینه به راه‌حل ایده‌آل
- ۷- رتبه‌بندی گزینه‌ها

## بحث و نتایج

حوضه‌های آبریز بالادست مخروط افکنه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه از ۳۵ حوضه کوچک تشکیل شده‌اند که برای تشکیل هر کدام از مخروط افکنه‌ها چند حوضه کوچک مشترکاً دخالت داشته‌اند. در این قسمت حوضه‌های آبریز بالادست هر مخروط افکنه به عنوان یک حوضه‌ی آبریز محسوب شده و در مجموع ۱۲ سیستم حوضه-مخروط افکنه

۱ - به علت محدودیت صفحات مقاله و وجود منابع متعدد فارسی در این زمینه از تکرار روابط خودداری شده است.

شناسایی شدند (شکل ۳). مساحت حوضه‌های آبریز از ۰/۱ تا ۱۰/۱ کیلومترمربع و مساحت مخروط افکنه‌ها از ۰/۰۲ تا ۴/۴ کیلومترمربع متغیر است (جدول ۳). نسبت مساحت قسمت فعال مخروط افکنه به مساحت کل مخروط افکنه هم از ۵ تا ۱۰۰ درصد متفاوت بوده است.



شکل (۳) مناطق فعال و غیرفعال مخروط افکنه‌های شمال ایذه

#### - تخمین دبی اوج

در حوضه‌های مورد مطالعه، با توجه به ویژگی‌های خاک و پوشش سطح زمین، میانگین وزنی مقادیر CN از ۷۸ تا ۹۰ متغیر بوده است (جدول ۳). مقدار بارش‌ها در زمان‌های ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ دقیقه در دوره‌ی بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله محاسبه شد (جدول ۴). با توجه به کوچک بودن حوضه‌ها و کوتاه بودن زمان تمرکز، میزان بارش ۱۲۰ دقیقه‌ای با دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله که مقدار آن ۳۶/۷۷ میلی‌متر است به عنوان معیار تخمین دبی اوج در نظر گرفته شد.

جدول (۳) برخی از ویژگی‌های سیستم حوضه - مخروط افکنه در شمال ایذه

شماره	مساحت حوضه $km^2$	مساحت کل مخروط افکنه $km^2$	مساحت مخروط افکنه فعال $km^2$	درصد مساحت مخروط فعال	میانگین مقدار CN
۱	۵/۲	۱/۲	۰/۰۷	۵/۸	۸۱
۲	۱۰/۱	۴/۳	۲/۲۳	۵۱/۹	۸۰
۳	۱/۴	۰/۴	۰/۳۷	۹۲/۵	۸۲
۴	۸/۶	۴/۴	۱/۰۷	۲۴/۳	۸۱
۵	۵/۳	۱/۷	۰/۶۹	۴۰/۶	۸۳
۶	۳	۱/۱	۰/۷۴	۶۷/۳	۸۴
۷	۰/۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۱۰۰	۸۰
۸	۰/۴	۰/۱	۰/۰۵	۵۰	۸۶
۹	۰/۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۱۰۰	۸۲
۱۰	۰/۶	۰/۰۳	۰/۰۳	۱۰۰	۷۸
۱۱	۰/۸	۰/۱	۰/۰۲	۲۰	۹۰
۱۲	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۱۰۰	۸۰

جدول (۴) مقدار بارش در زمان‌ها و دوره‌ی بازگشت‌های مختلف

زمان به دقیقه	دوره‌ی بازگشت به سال				
	۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵
۳۰	۲۹/۷۶	۲۶/۵۷	۲۲/۳۵	۱۹/۰۵	۱۵/۵۹
۶۰	۴۱/۹۸	۳۷/۴۹	۳۱/۵۲	۲۶/۸۶	۲۲/۹۹
۱۲۰	۵۷/۴۸	۵۱/۳۳	۴۳/۱۶	۳۶/۷۷	۳۰/۱۰
۱۸۰	۶۱/۳۸	۵۵/۵۹	۴۷/۸۵	۴۱/۴۳	۳۵/۳۴
۳۶۰	۸۳/۰۴	۷۵/۲۱	۶۴/۷۴	۵۶/۰۵	۴۷/۸۱

پس از انجام مراحل SCS مقادیر دبی اوج ناشی از بارش‌های ۳۰ تا ۳۶۰ دقیقه‌ای برای دوره‌ی بازگشت ده ساله محاسبه شد (جدول ۵).

## - رتبه‌بندی مناطق خطر با روش تاپسیس

برای رتبه‌بندی مناطق خطر در روش تاپسیس از چهار معیار دبی اوج ۱۲۰ دقیقه با دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله، زمان رسیدن به دبی اوج، مساحت مخروط افکنه فعال و مساحت روستاهای قرارگرفته روی مخروط افکنه فعال استفاده شد (جدول ۶). دوازده مخروط افکنه مورد مطالعه هم به عنوان گزینه در ماتریس وارد شدند.

جدول (۵) دبی اوج ایجادشده از بارش با دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله (مترمکعب بر ثانیه)

حوضه	۳۰ دقیقه	۶۰ دقیقه	۱۲۰ دقیقه	۱۸۰ دقیقه	۳۶۰ دقیقه
۱	۰/۸۱۳	۲/۵۶۲	۴/۴۰۹	۴/۶۶۹	۵/۳۹۵
۲	۲/۸۱۴	۷/۹۶۶	۱۱/۰۹۷	۱۱/۱۸۵	۱۱/۱۶۱
۳	۰/۳۶۷	۰/۹۷۸	۱/۶۷۵	۱/۵۳۰	۱/۶۵۳
۴	۲/۲۹۳	۸/۰۶۹	۱۰/۵۹۴	۱۰/۵۰۸	۱۰/۶۱۷
۵	۲/۹۳۲	۶/۱۱۳	۷/۵۲۱	۷/۴۵۸	۷/۳۱۹
۶	۱/۶۷۴	۳/۴۴۰	۴/۲۷۰	۴/۳۲۱	۴/۲۷۰
۷	۰/۰۱۵	۰/۰۵۸	۰/۱۱۹	۰/۱۳۱	۰/۱۶۹
۸	۰/۱۵۲	۰/۳۲۵	۰/۵۶۷	۰/۴۹۶	۰/۵۳۶
۹	۰/۱۳۴	۰/۳۵۵	۰/۴۷۵	۰/۵۵۱	۰/۵۹۳
۱۰	۰/۰۴۲	۰/۲۱۰	۰/۴۰۴	۰/۴۴۰	۰/۵۳۱
۱۱	۰/۹۹۶	۱/۵۶۰	۱/۸۵۷	۱/۶۸۹	۱/۵۴۹
۱۲	۰/۰۰۹	۰/۰۳۳	۰/۱۰۲	۰/۰۷۰	۰/۰۸۸

معیارهای دبی اوج، مساحت منطقه فعال مخروط و مساحت روستاهای قرارگرفته بر منطقه فعال مخروط افکنه، مثبت هستند یعنی هر چه عدد این شاخص‌ها در نواحی بزرگ‌تر باشد خطر ناشی از سیل بیشتر است. معیار زمان رسیدن به دبی اوج می‌باشد منفی است، بدین معنی که زمان اوج کوتاه‌تر خطر بیشتری داشته و زمان اوج طولانی‌تر

خطر سیل کمتری دارد. وزن متغیرهای وارد شده در مدل شامل مساحت روستاهای مستقر در مخروط فعال، مساحت مخروط فعال، دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج به ترتیب ۰/۴۲۶، ۰/۳۴، ۰/۲۲۹ و ۰/۰۰۳ بوده است که در مجموع شناسایی مناطق فعال مخروط بیشترین اهمیت را دارد (جدول ۶).

جدول (۶) ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری در روش تاپسیس

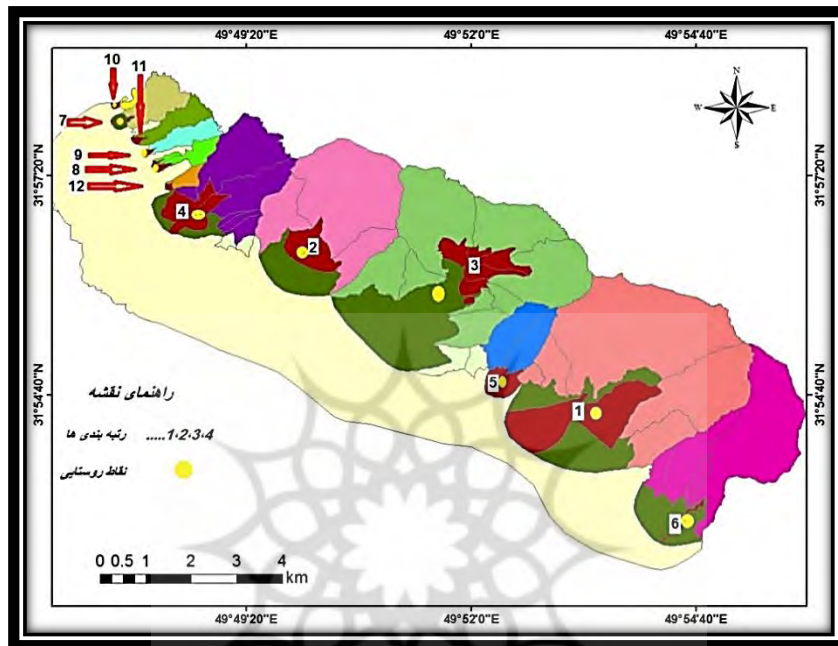
ماتریس	معیارها			
	ماتریس	معیارها	معیارها	معیارها
گزینه‌ها	دبی اوج به مترمکعب بر ثانیه	زمان اوج دبی پیک به دقیقه	مساحت مخروط فعال به $km^2$	مساحت روستای قرارگرفته بر مخروط به $km^2$
مخروط ۱	۴/۴۰۹	۱۰۷/۶۸۳	۰/۰۷	۰/۰۴
مخروط ۲	۱۱/۰۹۷	۷۵/۱۵۳	۲/۲۳	۰/۷۷
مخروط ۳	۱/۶۷۵	۸۴/۱۲۵	۰/۳۷	۰/۱۳
مخروط ۴	۱۰/۵۹۴	۷۴/۱۱۸	۱/۰۷	۰/۰۶
مخروط ۵	۷/۵۲۱	۷۷/۹۸۴	۰/۶۹	۰/۳۸
مخروط ۶	۴/۲۷	۸۵/۲۸۷	۰/۷۴	۰/۰۸
مخروط ۷	۰/۱۸۹	۸۷/۴۳۲	۰/۰۲	۰
مخروط ۸	۰/۵۶۷	۱۰۲/۳۷۸	۰/۰۵	۰/۰۱
مخروط ۹	۰/۴۷۵	۱۰۵/۹۱۷	۰/۰۳	۰/۰۱
مخروط ۱۰	۰/۴۰۴	۹۹/۱۰۳	۰/۰۳	۰
مخروط ۱۱	۱/۸۵۷	۸۷/۷۷۳	۰/۰۲	۰/۰۱
مخروط ۱۲	۰/۱۰۲	۸۱/۰۱۷	۰/۰۲	۰/۰۱
نوع معیار	مثبت	منفی	مثبت	مثبت
وزن معیار	۰/۲۲۹۶	۰/۰۰۳۲	۰/۳۴۰۸	۰/۴۲۶۴

پس از انجام مراحل مختلف روش تاپسیس بر اساس ضریب نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل، مخروط افکنه‌ها از نظر خطر سیلاب رتبه‌بندی شدند (جدول ۷ و شکل ۴). با

توجه به نتایج به‌دست‌آمده از رتبه‌بندی خطر سیل در مخروط افکنه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه مشاهده می‌شود که مخروط افکنه‌های ۲ و ۵ یعنی روستاهای پرچستان گورویی با جمعیت ۱۱۶۸ نفر و روستای پرچستان علی حسین مولا با جمعیت ۳۱۷ نفر به ترتیب با ضریب نزدیکی ۱ و ۰/۴۴۸۱ در رتبه‌های ۱ و ۲ قرار می‌گیرند؛ یعنی نسبت به بقیه‌ی مخروط افکنه‌ها بیشتر در معرض خطر سیلاب می‌باشند؛ و مخروط افکنه‌های ۷ و ۱۰ با ضریب نزدیکی ۰/۰۲۳ و ۰/۰۸۱ کمترین میزان خطر سیل را دارند. این دو مخروط علاوه بر ابعاد کوچک‌تر، فاقد جمعیت و سکونتگاه هستند.

جدول (۷) محاسبه ضریب نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل و رتبه‌بندی گزینه‌ها

رتبه‌بندی	ضریب نزدیکی	گزینه	نام روستاها
۱	۱	مخروط افکنه ۲	پرچستان گورویی
۲	۰/۴۴۸۱	مخروط افکنه ۵	پرچستان علی حسین مولا
۳	۰/۳۳۴۵	مخروط افکنه ۴	خُنگ اژدر و قلعه کزدمک
۴	۰/۲۲۰۸	مخروط افکنه ۶	خُنگ کمال وند
۵	۰/۱۶۳۵	مخروط افکنه ۳	پرچستان فاضل
۶	۰/۱۱۲۳	مخروط افکنه ۱	پرچستان اُورک و شالو
۷	۰/۰۴۵	مخروط افکنه ۱۱	خُنگ کرمعلی وند
۸	۰/۰۱۷۴	مخروط افکنه ۸	خُنگ یار علی وند
۹	۰/۰۱۴۱	مخروط افکنه ۹	خُنگ یار علی وند
۱۰	۰/۰۱	مخروط افکنه ۱۲	خُنگ کرمعلی وند
۱۱	۰/۰۰۸۱	مخروط افکنه ۱۰	-
۱۲	۰/۰۰۲۳	مخروط افکنه ۷	-



شکل (۴) رتبه‌بندی خطر وقوع سیلاب در مخروط افکنه‌های شمال ایزده

### نتیجه‌گیری

وقوع سیل یکی از مهم‌ترین مخاطرات محتمل در مناطق پایکوهی و خصوصاً مخروط افکنه‌هاست و متغیرهای مختلفی در تأثیرگذاری آن نقش دارند. هدف این پژوهش، اولویت‌بندی مخروط افکنه‌ها در مقابل سیلاب‌های ناگهانی بوده است. از این رو، روش تاپسیس که یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاری است برای اولویت‌بندی خطر مورد استفاده قرار گرفت. در تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، محققان شاخص‌های متعدد مورفومتری حوضه را به عنوان بیشترین معیار مورد استفاده قرار دادند. اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۵)، رضوی‌زاده و شاهدی (۱۳۹۵) و محمدی و ملکیان (۱۳۹۶) به ترتیب ده، هشت و شش معیار مورفومتری را در اولویت‌بندی خطر سیل با روش



تاپسیس مورد استفاده قرار دادند. در این مقاله برای محاسبه‌ی حداکثر دبی سیلاب، از پارامترهای مساحت حوضه، طول و شیب رودخانه، زمان تمرکز حوضه، میانگین بارش و مدت آن و شماره‌ی منحنی (CN) استفاده شد. لذا این معیارها به صورت غیرمستقیم در روش تاپسیس مورد استفاده قرار گرفتند.

در محدوده‌ی مورد مطالعه، مناطق فعال مخروط افکنه‌ها عامل مهمی در رتبه‌بندی خطر سیل محسوب شده‌اند، به طوری که متغیرهای مساحت مخروط افکنه و مساحت روستاهای مستقر در آن‌ها، ۷۷ درصد وزن رتبه‌بندی را به خود اختصاص داده‌اند. از این رو تعیین مناطق فعال مخروط افکنه‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث که قابلیت سه‌بعدی دارند می‌تواند در مقیاس منطقه‌ای برای تحلیل مناطق مستعد خطر سیل مناسب باشد. استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری مانند تاپسیس توانسته است با در نظر گرفتن متغیرهای تأثیرگذار، خطر سیل را در مخروط افکنه‌های شمال ایذه رتبه‌بندی نماید. این رتبه‌بندی در سطح منطقه‌ای می‌تواند مناطق حساس به خطر را نشان دهد و در صورت ضرورت، به مطالعات ژئومورفولوژیکی تفصیلی و مطالعات میدانی دقیق‌تر نیاز خواهد بود.

## منابع

- اسماعیلی، رضا؛ جوکار سرهنگی، عیسی و پروین روشن‌نکو (۱۳۹۵)، تعیین پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از روش تاپسیس، (مطالعه‌ی موردی استان مازندران، حوضه‌ی آبریز گلندرود)، جغرافیای طبیعی، دوره‌ی ۹، شماره‌ی ۱، صص ۸۷-۷۷.
- بهرامی، شهرام و کاظم بهرامی (۱۳۹۰)، ارزیابی تکنیک‌های ژئومورفولوژیکی جهت شناسایی مخروط افکنه‌های قدیمی و جدید به منظور تعیین مناطق مستعد سیل‌خیزی در چهار مخروط افکنه در زاگرس چین‌خورده، جغرافیا و توسعه، دوره‌ی ۹، شماره‌ی ۲۲، صص ۸۹-۱۰۶.
- ثقفی، مهدی؛ امیراحمدی، ابوالقاسم و مریم ربیعی (۱۳۹۵)، تشخیص واکنش‌های ژئومورفیک مخروط افکنه‌های جنوب دشت بیرجند به فعالیت‌های تکتونیکی و تغییرات آب و هوایی با استفاده از داده‌های میدانی، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره‌ی ۲۰، شماره‌ی ۵۷، صص ۹۷-۱۱۴.
- جمال‌آبادی، جواد؛ امیراحمدی، ابوالقاسم؛ مونسیان، قاسم و علی‌اکبر شایان یگانه (۱۳۹۳)، بررسی تأثیرات تکتونیکی گسل کمایستان بر شبکه‌ی زهکشی و مخروط افکنه‌ها با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در دامنه‌های شمالی ارتفاعات جغتای، آمایش جغرافیایی فضا، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۱۱، صص ۸۴-۶۳.
- جوکار سرهنگی، عیسی؛ اسماعیلی، رضا و سمیه فخرالدین (۱۳۹۵)، اولویت‌بندی عوامل مورفومتری مؤثر بر تشکیل مخروط افکنه با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره (مطالعه‌ی موردی: دامنه‌ی جنوبی البرز، استان سمنان)، اکوسیستم‌های طبیعی ایران، دوره‌ی ۷، شماره‌ی ۲، صص ۲۲-۱۱.
- رضوی‌زاده، سمانه و کاکا شاهی (۱۳۹۵)، اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های حوضه‌ی آبخیز طالقان با استفاده از تلفیق AHP و TOPSIS، دوره‌ی ۷، شماره‌ی ۴، صص ۴۶-۳۳.

- شایان، سیاوش؛ شریفی‌کیا، محمد و غلامرضا زارع (۱۳۹۲)، بررسی نقش نو زمین‌ساخت، عوامل مورفوکلیماتیک و آنتروپوژنیک در پیدایش و تحول مخروط افکنه‌ها (مطالعه‌ی موردی: مخروط افکنه‌ی گرمسار)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره‌ی ۲۴، شماره‌ی ۲، صص ۷۵-۸۸.
- قهرمان، بیژن و حمیدرضا آبخضر (۱۳۹۳)، اصلاح روابط شدت - مدت - فراوانی بارندگی در ایران، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۸، شماره‌ی ۲، صص ۱-۱۳.
- گورابی، ابوالقاسم، و مصطفی کریمی (۱۳۹۱)، تأثیر تکتونیک فعال و تغییرات اقلیمی در تحول مخروط افکنه مروست، ایران مرکزی، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، دوره‌ی ۱۲، شماره‌ی ۲۷، صص ۷-۳۰.
- محمدنژاد، وحید و صیاد اصغری (۱۳۹۴)، واکنش مخروط‌افکنه‌های شرق گرمسار بر جابه‌جایی عمودی و امتدادی گسل‌ها (با تأکید بر مخروط افکنه ده‌نمک)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۲، صص ۱-۱۷.
- محمدی، پروین و آرش ملکیان (۱۳۹۶)، اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیز از نظر خطر بروز سیل بر اساس مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (تئوری سیستم‌های خاکستری ELECTRE-TOPSIS)، اکوهیدرولوژی، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۲، صص ۵۰۸-۴۹۹.
- مختاری کشکی، داوود (۱۳۸۸)، ارزیابی همزمانی واکنش مخروط افکنه‌ها به تغییرات اقلیمی اواخر پلیستوسن و هولوسن در دشت مرنند و دشت پرسیان، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره‌ی ۱۴، شماره‌ی ۳۰، صص ۱۵۱-۱۳۵.
- مددی، عقیل؛ مختاری، داود، شیرزادی، حمدیه و ارسلان مهرورز (۱۳۹۵)، بررسی عملکرد نئوتکتونیک بر مخروط افکنه‌ها با تأکید بر توان لرزه‌خیزی گسل‌ها (منطقه‌ی مورد مطالعه: دامنه‌های شمال غرب سهند)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره‌ی ۵، شماره‌ی ۲، صص ۳۱-۴۱.

- مقصودی، مهران (۱۳۸۷)، بررسی عوامل مؤثر در تحول ژئومورفولوژی مخروط افکنه‌ها مطالعه‌ی موردی: مخروط افکنه جاجرود، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، دوره ۴۰، شماره ۶۵، صص ۷۳-۹۲.
- موسوی، سیدمرتضی؛ خطیب، محمدمهدی و مهدی یوسفی (۱۳۹۶)، تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر مورفولوژی مخروط افکنه‌های شمال بیرجند، پژوهش‌های ژئومورفولوژی، دوره ۶، شماره ۳، صص ۶۰-۷۳.
- نصرتی، کاظم؛ احتشامی معین‌آبادی، محسن؛ شماخی، اکرم و علی‌اکبر نظری سامانی (۱۳۹۷)، تأثیر تکتونیک در شکل‌گیری مخروط افکنه‌ها و تحلیل پدوژئومورفیک آن‌ها (مطالعه‌ی موردی: هشتگرد-کردان، استان البرز)، پژوهش‌های دانش زمین، دوره ۹، شماره ۱، صص ۶۶-۸۲.
- یمانی، مجتبی؛ مقصودی، مهران؛ قاسمی، محمدرضا و وحید محمدنژاد (۱۳۹۱)، شواهد مورفولوژیکی و مورفومتریکی تأثیر تکتونیک فعال بر مخروط افکنه‌های شمال دامغان، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، دوره ۴۴، شماره ۲، صص ۱-۱۸.
- یمانی، مجتبی؛ گورابی، ابوالقاسم؛ زمان‌زاده، سیدمحمد و عارفه شعبانی عراقی (۱۳۹۵)، شواهد تغییرات سطح اساس پلایای میقان در کواترنری و تأثیر آن بر مورفولوژی و توالی مخروط افکنه‌ها، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۸، شماره ۱، صص ۱۵-۳۱.
- Benito, G., (2013), **Hazardous Processes: Flooding**, Treatise on Geomorphology, No.13, PP. 243-261.
- Chow, V.T, (1964), **Handbook of Applied Hydrology**, McGraw-Hill, New York, NY, USA.
- FEMA, (2000), **Guidelines for determining flood hazards on alluvial fans**, Federal Emergency Management Agency, [http://www.fema.gov/mit/tsd/ft\\_alfan.htm](http://www.fema.gov/mit/tsd/ft_alfan.htm).
- Goudie, A., (2004), **Encyclopedia of Geomorphology**, Routledge; 1 edition, P. 1200.

- Harvey, A., (2018), **Alluvial Fans, Earth Systems and Environmental Sciences**, PP. 1-13. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11066-8>.
- Kain, C.L., Rigby, E.H. and Mazengarb, C., (2018), **A combined morphometric, sedimentary, GIS and modelling analysis of flooding and debris flow hazard on a composite alluvial fan**, Caveside, Tasmania, *Sedimentary Geology*, Vol. 64, PP. 286-301.
- Roy, S. and Mistri, B., (2013), **Estimation of Peak Flood Discharge for an Ungauged River: A Case Study of the Kunur River, West Bengal**, *Geography Journal*, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/214140>.
- Santangelo, N., Daunis-i-Estadell, J., Di Crescenzo, G., Di Donato, V., Faillace, P. I., martin –Fernandez, J.A., Romano, P., Santo, A. and Scorpio, V., (2011), **Topographic predictors of susceptibility to alluvial fan flooding, Southern Apennines**, *Earth Surface Processes and Land Forms*, PP. 1-14. DOI: 10.1002, esp.3197.
- Santo, A., Santangelo, N., Crescenzo, G.D., Scorpio, V., Falco, M.D. and Chirico, G.B., (2015), **Flash flood occurrence and magnitude assessment in an alluvial fan context: The October 2011 event in the Southern Apennines**, *Natural Hazards*, DOI 10.1007/s11069-015-1728-4.
- Scorpio, v., Santangelo, N. and Santo, A., (2016), **Multiscale map analysis in alluvial fan flood-prone areas**, *Journal of Maps*, Vol. 12, No. 2, PP. 382–393.