

تهیه نقشه خطر سیلاب با استفاده از مدل هیدرولیکی و اطلاعات ژئومورفولوژیک مطالعه موردی «مخروطه‌افکنه فریزی» در استان خراسان رضوی

زینب ملایی^{۱*}، کامران داوری^۲، حسین انصاری^۳، علی رضا فرید حسینی^۴ و مجید هاشمی‌نیا^۵

چکیده

سیلاب‌های مخروط‌افکنه‌ای، خطرناک‌تر از سیلاب‌های رودخانه‌ای هستند؛ زیرا مسیر جریان روی مخروط‌افکنه بالقوه غیرقابل پیش‌بینی است. خطر سیلاب روی مخروط‌افکنه‌ها با پتانسیل تغییر مکان آبراهه همراه و باعث خسارات فراوانی می‌شود. در این راستا آژانس فدرال مدیریت بحران آمریکا (FEMA) برای تهیه نقشه‌های خطر سیل روی مخروط‌افکنه‌ها روشی سه مرحله‌ای را طراحی کرده است. این پژوهش در جنوب دشت چناران (واقع در استان خراسان رضوی) و با روش FEMA روی مخروط‌افکنه فریزی انجام شده است. در ابتدا وجود مخروط‌افکنه در منطقه شناسایی و سپس مناطق فعال روی مخروط از مناطق غیرفعال مجزا شدند. در گام سوم مناطق دارای سیلاب صد ساله روی مخروط‌افکنه پهنه‌بندی شد. در ادامه گام سوم از سه راهکار به شرح زیر استفاده شد: ۱. مدل‌سازی با FAN PROGRAM، ۲. مدل‌سازی هیدرولیکی جریان با (HEC-RAS) و ۳. استفاده از اطلاعات ژئومورفولوژی. نقشه‌های خطر سیل مستخرج از هرکدام از این راهکارها با یکدیگر مقایسه شد. مقایسه‌های صورت گرفته تناقض‌هایی را بین این نقشه‌ها نشان داد که دلیلش این است که هر روش بخشی از واقعیت سیل‌گیری را بیان می‌کند؛ بنابراین کاربرد مشترک مدل هیدرولیکی آبراهه و مدل FAN (جریان روی بخش فعال مخروط‌افکنه) و نیز تحلیل توأم این نتایج با شواهد تاریخی سیل‌گیری از نظر ژئومورفولوژیکی روی مخروط‌افکنه می‌تواند مخاطره سیل را به نحو مطلوبی نمایش دهد.

واژه‌های کلیدی: سیلاب‌های مخروط‌افکنه‌ای، ژئومورفولوژی، نقشه خطر سیلاب.

ارجاع: ملایی، ز. داوری، ک. انصاری، ح. فرید حسینی، ع. ر. و هاشمی‌نیا، م. ۱۳۹۸. تهیه نقشه خطر سیلاب با استفاده از مدل هیدرولیکی و اطلاعات ژئومورفولوژیک مطالعه موردی «مخروطه‌افکنه فریزی» در استان خراسان رضوی. مجله پژوهش آب ایران. ۳۲: ۱۹-۲۸.

۱- کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۵- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

* نویسنده مسئول: moolace@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۱۶

مقدمه

با توجه به رشد بالای خسارت سیل در کشور، شناسایی مناطق پرخطر در مقابل سیل بسیار ضروری است. مخروط‌افکنه‌ها، مواد رسوبی یک رودخانه‌اند که در پای کوه ته‌نشین می‌شوند و از نگاه بالا شبیه بادبزن هستند. تکامل مخروط‌افکنه‌ها در طول زمان تغییراتی در سطح آن‌ها ایجاد می‌کند که باعث می‌شود بخش‌هایی از آن تحت تأثیر سیلاب قرار گیرند (فعال) در حالیکه بخش‌های دیگر خارج از خطر سیلاب واقع شوند (غیرفعال). از طرفی نبود شناخت کافی از بخش‌های مخاطره‌خیز سیلاب، در مخروط‌افکنه‌ها هر سال خسارت زیاد مالی و جانی به جوامع انسانی وارد می‌شود. آژانس فدرال مدیریت بحران آمریکا خطرهای سیل را که ممکن است روی مخروط‌افکنه رخ بدهد بررسی کرده و به تعریف سیلاب‌های مخروط‌افکنه‌ای پرداخته است که برای شناسایی خطر سیلاب، از مدل هیدرولیکی و ویژگی‌های ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه و ترکیب این روش‌ها استفاده کرده است (FEMA, ۲۰۰۳). قبل از این، بررسی‌های داودی (۱۹۷۹) براساس جمع‌آوری آمار و اطلاعات مربوط به عرض آبراهه‌ها و سیل‌گیری در سطح مخروط‌افکنه در مناطقی از آمریکا به این نتیجه رسید که هر نقطه در یک مخروط‌افکنه فعال ممکن است در معرض سیلاب قرار گیرد و باید در تحلیل سیلاب احتمال این‌که مناطق تحت تأثیر سیلاب مشخص، در طول زمان متفاوت باشند، در نظر داشت. مدل FAN PROGRAM که براساس تئوری داودی است، برای شناسایی نواحی با سیلاب صد ساله روی مخروط‌افکنه‌ها استفاده شد. فولر (۲۰۱۲ a) به تجربه و تحلیل این مدل پرداخته است و پیشنهادهاتی برای استفاده از این مدل داده است، از جمله اینکه نتایج این مدل باید حتماً با نتایج ویژگی‌های ژئومورفولوژی منطقه ترکیب شود و نباید به تنهایی برای شناسایی خطر سیلاب استفاده شود. فولر (۲۰۱۲ a) مطالعات گسترده‌ای روی مخروط‌افکنه‌های آریزونا با استفاده از اطلاعات ژئومورفولوژیکی و مدل هیدرولیکی انجام داده است. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد، بدون در نظر گرفتن نقش عدم قطعیت جریان روی مخروط‌افکنه‌ها نمی‌توان تخمین صحیحی از مخاطره سیلاب داشت و باید با استفاده از ترکیب مدل هیدرولیکی و اطلاعات ژئومورفولوژیکی نواحی دارای خطر سیلاب را شناسایی کرد (فولر، ۲۰۱۲ b). وی

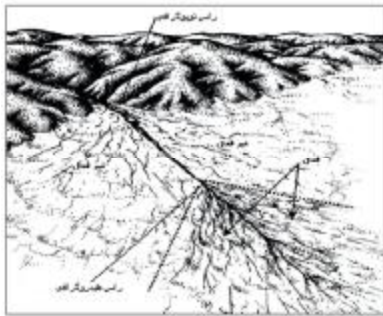
همچنین به تجزیه و تحلیل روش FEMA پرداخته و پیشنهاد کرده است که علاوه بر استفاده از ترکیب مدل هیدرولیکی و اطلاعات ژئومورفولوژی برای شناسایی خطر سیلاب روی مخروط‌افکنه‌ها، باید خطر جریان‌های واریزه‌ای و گلی نیز روی مخروط‌افکنه‌ها بررسی شود (فولر، ۲۰۱۳). بعضی از پژوهش‌ها صورت گرفته روی سیلاب‌های مخروط‌افکنه‌ای با به کارگیری روش FEMA و استفاده از تلفیق داده‌های ژئومورفولوژیکی با مدل هیدرولیکی مانند (واحد مهندسین ارتش آمریکا، ۲۰۰۴؛ پاتریشیا و پارادس، ۲۰۰۴؛ فیلیپ و پیرتری، ۲۰۰۴) و یا تلفیق مدل‌های هیدرولیکی و مدل عددی می‌توان از هاووس (۲۰۰۵)، جرمی و لندکستر (۲۰۱۰)، ولش و داویس (۲۰۱۰) نام برد. یافته‌های حاصل از این تحقیقات نشان می‌دهند که تنها با استفاده از هر کدام از روش‌ها به تنهایی نمی‌توان ارزیابی دقیقی از خطر سیلاب داشت. نتایج نشان می‌دهد داده‌های ژئومورفولوژیکی می‌تواند یک ابزار قوی برای کالیبره کردن نتایج مدل هیدرولیکی به کار رود. در واقع بررسی‌ها نشان می‌دهد که استاندارد مهندسی مشخصی برای ارزیابی عدم قطعیت جریان جریان روی مخروط‌افکنه‌ها وجود ندارد. اگرچه شباهت‌های بنیادی بین روش‌هایی که براساس مهارت‌های مهندسی و ژئومورفولوژیک استفاده می‌شود وجود دارد، ولی روش‌هایی که ذکر شد و هر کدام کم و کاستی‌هایی دارند که نمی‌توانند احتمال خطر سیلاب را روی مخروط‌افکنه‌ها به طور دقیق تعیین کنند؛ بنابراین با تلفیق نتایج مدل هیدرولیکی، ویژگی‌های ژئومورفولوژیک و مدل عددی FAN که در این تحقیق انجام شده‌است، می‌توان ارزیابی دقیق‌تری از برآورد خطر سیلاب روی مخروط‌افکنه‌ها داشت.

اهمیت پژوهش در این است که برای برآورد مخاطره سیل‌گیری روی مخروط‌افکنه‌ها استفاده از روش‌های سنتی تحلیل سیلاب‌دشت مانند HEC-RAS کافی نیست؛ زیرا سیلاب روی مخروط‌افکنه دارای دو بخش فعال و غیرفعال است. بخش فعال مخروط‌افکنه همراه با قطعیت مسیر جریان نیست؛ بنابراین تحلیل هیدرولیکی به تنهایی منجر به تعیین مخاطره نمی‌شود. از طرفی بدون به‌کارگیری روش‌های مناسب، خسارات ناشی از سیلاب روی مخروط‌افکنه‌ها، به‌خصوص مخروط‌افکنه‌های با اراضی توسعه یافته شهری، بسیار شدید می‌شود.

مخروطه‌افکنه است در حالیکه رأس هیدروگرافی بلندترین نقطه روی شبکه هیدروگرافی مخروطه‌افکنه است که دو شاخه‌ای شدن جریان و یا خارج شدن جریان از سمت آبراهه در آن قابل مشاهده است. با استفاده از بازدید میدانی و آزمایش دانه‌بندی و همچنین عکس‌های هوایی روی مخروطه‌افکنه فریزی نواحی فعال و غیر فعال و مرز آن مشخص شده است (شکل ۱). در شکل ۲ مرز بین مناطق فعال و غیرفعال در مخروطه‌افکنه توسط رأس هیدروگرافی مشخص شده است. (وزارت نیرو، ۱۳۸۹) و (FEMA, ۲۰۰۳).

جدول ۱- مشخصات مخروطه‌افکنه مورد مطالعه

ویژگی‌های مخروطه‌افکنه فریزی	
۱۵۵	مساحت (km ²)
۱/۰۴	شیب (%)



شکل ۱- مرزهای هندسی مخروطه‌افکنه، محدوده‌های فعال و غیرفعال مخروطه‌افکنه، رأس هیدروگرافی، رأس توپوگرافی و پنجه مخروطه‌افکنه



شکل ۲- محدوده‌های فعال و غیرفعال در مخروطه‌افکنه با توجه به قرارگیری رأس توپوگرافی و رأس هیدروگرافی در مخروطه‌افکنه (FEMA, ۲۰۰۳)

شناسایی محدوده‌های فعال و غیرفعال مخروطه‌افکنه محدوده فعال در مخروطه‌افکنه، یعنی مناطقی که فرآیندهای رسوب‌گذاری، فرسایش و ناپایداری مسیره‌های

هدف اصلی این پژوهش تهیه نقشه خطر سیلاب با در نظر گرفتن نقش عدم قطعیت جریان با استفاده از ویژگی‌های ژئومورفولوژی منطقه، مدل هیدرولیکی HEC-RAS و مدل FAN PROGRAM روی مخروطه‌افکنه فریزی است. این مطالعه روی مخروطه‌افکنه فریزی واقع در شمال شرقی ایران صورت گرفته است. با توجه به خساراتی که این ناحیه در اثر سیلاب داشته است و قرارگیری نقاط مسکونی و صنعتی روی این مخروطه‌افکنه و با توجه به خطراتی که عدم قطعیت جریان روی مخروطه‌افکنه می‌تواند داشته باشد، تعیین پتانسیل سیل‌گیری روی این مخروطه‌افکنه ضروری است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مخروطه‌افکنه فریزی، در دامنه شمالی رشته کوه بینالود در شمال‌شرق ایران در استان خراسان است که از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۲۰' ۳۶" تا ۳۶' ۳۲" عرض شمالی و ۴۸' ۴۸" تا ۵۹' ۰۵" طول شرقی و از لحاظ اقلیم در منطقه‌ای با آب و هوای سرد و نیمه‌خشک قرار گرفته است. این مخروط در نتیجه فرسایش حوضه بزرگ رودخانه فریزی و رسوب‌گذاری این رودخانه تشکیل شده است. به دلیل عمق افزون‌تر و دانه‌بندی ریزتر، دارای خاک حاصلخیز و مستعد کشاورزی است و منابع آب سطحی و زیرزمینی غنی دارد. به این دلیل سکونتگاه‌های شهری و روستایی مهم‌تری در پای‌کوه‌های این بخش توسعه یافته‌اند. از ویژگی‌های این مخروطه‌افکنه می‌توان از دانه‌بندی درشت تا متوسط آن را نام برد. شکل ۱ نواحی فعال و غیرفعال و قسمت‌های مختلف مخروطه‌افکنه فریزی را نشان می‌دهد. همچنین جدول ۱ مشخصات مخروطه‌افکنه را نشان می‌دهد.

شناسایی وجود مخروطه‌افکنه در منطقه مورد

مطالعه

با بررسی میدانی برای تفکیک مخروطه‌افکنه از سایر ساختارهای زمین، می‌توان رأس مخروطه‌افکنه، مرزهای جانبی و پنجه مخروطه‌افکنه را شناسایی کرد. در بسیاری از مخروطه‌افکنه‌ها دو رأس را می‌توان از منظر توپوگرافی و هیدروگرافی تشخیص داد. رأس توپوگرافی از لحاظ توپوگرافی بلندترین نقطه و پرشیب‌ترین نقطه روی

FAN فارغ از موقعیت آبراهه فعلی امکان گسترش (جابجایی) سیل روی مخروطه‌افکنه فعال را تحلیل می‌کند (FEMA, ۲۰۰۳).

بدین ترتیب احتمال وقوع سیلاب به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$H = \begin{cases} 1 & \text{اگر نقطه در معرض سیل قرار بگیرد} \\ 0 & \text{اگر نقطه در معرض سیل قرار نگیرد} \end{cases} \quad (1)$$

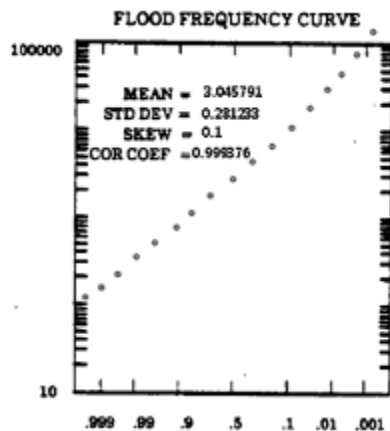
$P(H = 1) = \int_{q_0}^{\infty} p_{H/Q}(1, q) f_Q(q) dq$
 احتمال اینکه یک نقطه در سطح مخروطه‌افکنه تحت پوشش سیل قرار بگیرد، به شرط این که دبی جریان در رأس مخروطه‌افکنه (Q) معادل q باشد؛ $f_Q(q)$ تابع شدت احتمال دبی Q در رأس مخروطه‌افکنه؛ Q دبی سیلاب در رأس مخروطه‌افکنه (cfs)؛ H احتمال وقوع سیلاب روی مخروطه‌افکنه.

همچنین برنامه FAN رابطه بین q با عمق انرژی D بر حسب فوت و v بر حسب فوت بر ثانیه را به صورت زیر تعریف می‌کند:

$$q = 274.4D^{2.5} \quad (2)$$

$$q = 0.1289v^5 \quad (3)$$

فرضیات این برنامه شامل (۱) تابع چگالی احتمال (PDF) جریان سیلابی از توزیع لوگ‌پیرسون تیپ سه تبعیت می‌کند. (۲) احتمال سیلابی شدن در هر خط تراز از سطح مخروطه‌افکنه تابع عرض آبراهه تقسیم بر عرض مخروطه‌افکنه فعال در طول خط تراز است (شکل ۳).



شکل ۳- عرض کنتور و عرض جریان آبراهه

(۳) نسبت تغییرات عرض به تغییرات عمق برابر ۲۰۰- است. (۴) عرض کانال چند شاخه ۳/۸ برابر عرض کانال تک شاخه است. (۵) عمق بحرانی و کانال مستطیلی است.

جریان در آنجا امکان‌پذیر باشد. اگر جریان سیلاب و رسوب‌گذاری طی صد سال گذشته، در مناطقی از مخروطه‌افکنه رخ داده باشد، می‌توان آن را فعال دانست. در مقابل محدوده‌های غیرفعال در مخروطه‌افکنه، یعنی مناطقی که فرآیندهای رسوب‌گذاری، فرسایش و سیلاب‌های با مسیر ناپایدار در آنجا وجود ندارد. در محدوده‌های غیرفعال نیز امکان وقوع سیلاب وجود دارد، البته در دوره بازگشت‌های بالاتر از صد سال (و به طور کلی میانگین ۵۰۰ ساله) در هر حال مقدار قابل توجهی از سیلاب در آبراهه اصلی بخش فعال جریان می‌یابد. برای تشخیص فعال و غیرفعال بودن مخروطه‌افکنه‌ها می‌توان از نقشه‌های زمین‌شناسی و خاک‌شناسی، تراکم و نوع پوشش گیاهی، عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی، بررسی هوازنگی سنگ‌ها و غیره استفاده کرد (وزارت نیرو، راهنمای مطالعات رودخانه‌های مخروطه‌افکنه‌ای، ۱۳۸۹).

تعیین و شناسایی نواحی سیلاب صد ساله

در پژوهش حاضر از سه روش برای شناسایی این نواحی استفاده شده است: برنامه کامپیوتری FAN، مدل هیدرولیکی HEC-RAS و اطلاعات ژئومورفولوژی. با استفاده از مدل HEC-RAS سیلاب با دوره بازگشت صد ساله شبیه‌سازی می‌شود. براساس اطلاعات ژئومورفولوژیکی (الگوی زهکشی، رنگ تصاویر ماهواره‌ای، اطلاعات توپوگرافی، سنگ فرش بیابان، ورنی صحرا، پوشش گیاهی و ...) و نقشه زمین‌شناسی (سن و جنس رسوبات) نواحی فعالی که مستعد سیل‌گیری هستند، شناسایی می‌شود (که در گام دوم نیز تا حدودی از این مناطق شناسایی شدند). از برنامه کامپیوتری FAN نیز برای شناسایی نواحی سیلاب صد ساله استفاده می‌شود. سپس نتایج حاصل از هر کدام از این روش‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

برنامه کامپیوتری FAN

در سال ۱۹۹۰ ستاد مدیریت بحران آمریکا برنامه کامپیوتری FAN را تولید کرد. این برنامه براساس تئوری داودی است و به کمک آن می‌توان نواحی سیلاب ۱۰۰ ساله را تشخیص داد (داودی، ۱۹۷۹). تحلیل این مدل، این است که تمامی عرض قسمت فعال مخروطه‌افکنه را مستعد سیل‌گیری در نظر می‌گیرد و عمق و سرعت سیلاب را براساس عرض مذکور محاسبه می‌کند. در واقع

مخروطه‌افکنه نشان می‌دهد. جدول ۳ مقادیر عمق انرژی، عمق، سرعت، احتمال افزایش دبی در رأس مخروطه‌افکنه و عرض کنتور را نشان می‌دهد. شکل ۶ نقشه خطر سیل به‌دست آمده از نتایج برنامه FAN را نشان می‌دهد، برای نمونه (۰/۶-۲/۴۳)، یعنی ناحیه‌ای که دارای عمق ۰/۶ متر و سرعت ۲/۴۳ متر بر ثانیه می‌باشد. مخروطه‌افکنه به دو ناحیه با عمق ۰/۶ و ۰/۳ متر تقسیم شده است. به‌عنوان مثال براساس نتایج جدول ۳ نواحی که دارای عمق‌های کمتر از ۰/۳ متر و سرعت کمتر از ۱/۸۲ متر بر ثانیه هستند، در داخل این محدوده با رنگ‌های زرد و سبز و قرمز مشخص شده‌اند و نواحی با عمق‌های بین ۰/۶ تا ۰/۳ متر بر حسب سرعت‌شان در ناحیه‌هایی با رنگ‌های بنفش و آبی قرار گرفته‌اند. شکل ۷ پهنه سیلاب صد ساله توسط مدل HEC-RAS است و نشان می‌دهد سیل صرفاً در آبراهه معین شده طی مسیر می‌کند و فقط مناطقی که در حاشیه رودخانه هستند، سیل‌گیری داشته‌اند. یادآوری می‌کند به کارگیری آمار کوتاه مدت در این مدل نمی‌تواند دید کاملی از وقایع سیلابی در عرصه مخروطه‌افکنه فراهم کند.

$$w(q) = \text{عرض جریان آبراهه} = W(\text{ft}) = \text{عرض کنتور (ft)} \quad (4)$$

$$p_{H/Q}(1, q) = \frac{w(q)}{W} \quad (5)$$

$$\frac{dw}{dD} = -200$$

نتایج و بحث

در این مطالعه از داده‌های ایستگاه هیدرومتری موشنگ واقع در طول جغرافیایی ۵۹°۰۷'۱۲" و عرض جغرافیایی ۱۷°۳۰'۳۶" به منظور تعیین مقادیر دبی استفاده شده است که این مقادیر با دوره بازگشت‌های مختلف براساس توزیع نرمال در جدول ۲ نشان داده شده است. برنامه FAN با استفاده از مقادیر دبی در دوره بازگشت‌های مختلف، خروجی به‌صورت شکل ۴ می‌دهد که این شکل صفحه اول از خروجی این مدل است. محور عمودی مقادیر دبی در دوره بازگشت‌های مختلف و محور افقی احتمال وقوع سیلاب را نشان می‌دهد. توزیع آماری به‌دست آمده از نتایج نیز روی شکل نشان داده شده است. شکل ۵ صفحه ۲ از خروجی برنامه FAN است که عمق (متر) و سرعت (متر بر ثانیه) را در قسمت‌های مختلف

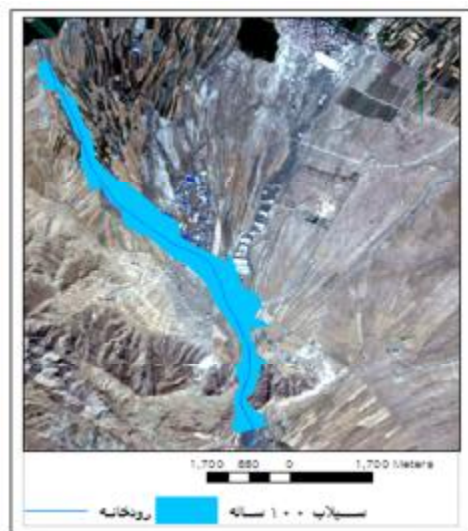
جدول ۲- مقادیر دبی با دوره بازگشت‌های مختلف در ایستگاه هیدرومتری موشنگ

دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰
دبی (m ³ /s)	۴۰/۳۸	۶۱/۱۳	۷۲	۸۳/۶۳	۹۱	۹۷/۷۵	۱۱۱/۳۸	۱۱۶/۵

جدول ۳- نتایج حاصل از برنامه FAN

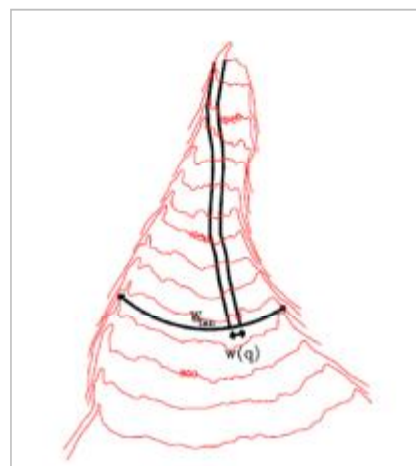
عرض (متر)	احتمال افزایش دبی در رأس		دبی (مترمکعب بر ثانیه)	عمق (متر)	عمق انرژی (متر)
	۱/۰.۸۰۹Q ^{۱/۰.۱۳۱}	Q			
۴۸۸۸	۱	۱	۱/۳۸	۰/۰۹	۰/۱۵
۳۹۰۹	۰/۷۱	۰/۷۹	۲۱/۴	۰/۳	۰/۴۵
۶۹۳	۰/۰۸	۰/۱۴	۷۶/۷۹	۰/۵۱	۰/۷۶

عرض (متر)	احتمال افزایش دبی در رأس		دبی (مترمکعب بر ثانیه)	عمق (متر)	سرعت (متر بر ثانیه)
	۱/۰.۸۰۹Q ^{۱/۰.۱۳۱}	Q			
۴۸۸۸	۱	۱	۱/۹۲	۰/۱۲	۱/۰۶
۴۸۷۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۶/۳۷	۰/۱۸	۱/۳۷
۴۱۷۸	۰/۷۹	۰/۸۵	۱۸/۳۷	۰/۲۴	۱/۶۷
۲۰۳۷	۰/۳۱	۰/۴۱	۴۲/۳۶	۰/۳۹	۱/۹۸
۴۹۶	۰/۰۶	۰/۱	۸۶/۶۲	۰/۵۱	۲/۲۸

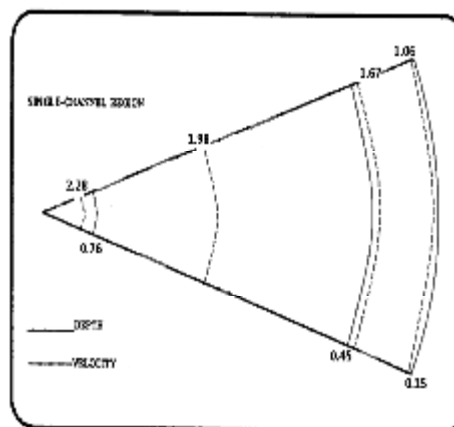


شکل ۷- پهنه سیلاب صد ساله با مدل HEC-RAS

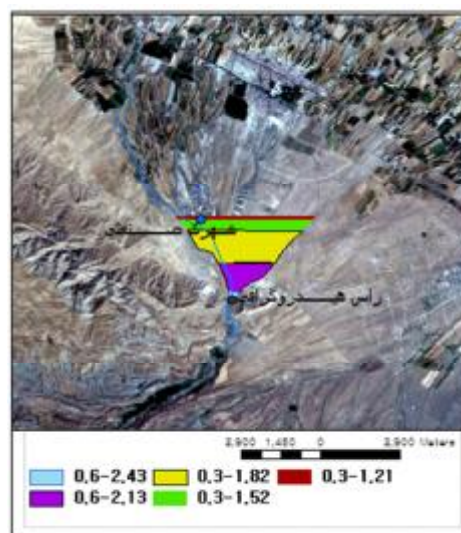
برای شناسایی نواحی فعال و غیرفعال از ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی روی مخروطه‌افکنه فریزی مانند الگوی زهکشی، رنگ تصاویر ماهواره‌ای، اطلاعات توپوگرافی، سنگ فرش بیابان، ورنی صحرا، پوشش گیاهی و نوع بافت رسوبات موجود بر روی مخروطه‌افکنه استفاده شد. تعیین الگوی زهکشی و مشخصات کانال‌ها با استفاده از تصاویر Google Earth انجام شده است، که نشان می‌دهد این مخروطه‌افکنه شامل یک زهکش واحد و بلند و دارای الگوی زهکشی توزیعی و متقاطع است (شکل ۸- A). همچنین براساس این تصاویر، نواحی که به علت هوازگی کمتر و عدم وجود ورنی و پوشش هوازده دارای رنگ روشن‌تر بودند، جزء نواحی فعال شناسایی شدند و نواحی که رنگ تیره‌تری داشتند منطبق بر بخش‌های غیرفعال مخروطه‌افکنه در نظر گرفته شدند (شکل ۸- B). برای تفکیک بخش‌های فعال و غیرفعال مخروطه‌ها براساس پوشش گیاهی و بافت رسوبات به منطقه سفر شده و عکس و نمونه تهیه شده است. روی مخروطه‌افکنه قسمت‌هایی که پوشش نداشتند و یا پوشش همسان و یکساله داشتند به‌عنوان نواحی فعال و قسمت‌هایی که کشاورزی روی آن‌ها صورت گرفته بود به‌عنوان نواحی غیرفعال شناسایی شدند (شکل ۹). همچنین به منظور بررسی بافت رسوبات، با بازدید میدانی که صورت گرفت، مقداری نمونه رسوب از سه قسمت مختلف مخروطه‌افکنه برداشته شد و سپس در آزمایشگاه عمل گرانولومتری روی آن‌ها صورت گرفت. براساس نتایج گرانولومتری اگر میزان



شکل ۴- خروجی مدل FAN



شکل ۵- نمایش عمق و سرعت در مخروطه‌افکنه در یک کانال تک‌شاخه



شکل ۶- نقشه خطر سیل به‌دست آمده با مدل FAN

نواحی با سیلاب ۵۰۰ سال هستند. همچنین از نتایج مدل HEC-RAS براساس دبی پانصد سال روی این مخروطه‌افکنه استفاده شده است که نتایج تلفیق این دو مدل در محیط GIS با هم نواحی سیلاب ۵۰۰ سال را تشکیل داده‌اند، که با عنوان RF500 در شکل ۱۳ نشان داده شده است. کل نقشه تولید شده RF (Regulatory flood plain) نامیده شده است. در نقشه RF نواحی که جزء سیلاب‌های ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله نیستند NRF (Not Regulatory Flood Plain) نامیده می‌شود. مقایسه حاصل از نقشه RF و GF در شکل ۱۴ نشان داده شده است. در جدول ۴ نتایج مقایسه این دو نقشه به صورت توافقی (قسمت‌هایی که بر هم منطبق هستند) و عدم توافقی (قسمت‌هایی که بر هم منطبق نیستند) خلاصه شده است. نواحی از GF و RF را که روی هم افتاده‌اند، توافقی^۱ نامیده‌اند و قسمت‌هایی که روی هم قرار نگرفته‌اند، عدم توافقی نامیده شده‌اند.

براساس نتایج جدول ۴، نوع ۲ الف توافقی نشان می‌دهد که GF و RF100 با یکدیگر ۲۸/۰۶ درصد هم‌پوشانی دارند، (GF=RF100) و باقی‌مانده حدود ۷۱/۹۴ درصد هم‌پوشانی بین GF و RF500 قرار دارد (GF=RF500). در نوع ۲ عدم توافقی نقطه‌ای وجود ندارد که در GF باشد؛ اما در RF نباشد و GF کاملاً Q منطبق بر RF است. (GF<>RF). نوع ۳ عدم توافقی (RF<>GF)، نواحی وجود دارد که شامل ناحیه RF می‌شود؛ ولی شامل GF نمی‌شود که در اینجا مقدار ۴۹/۶۳ درصد از RF را شامل شده است. در داخل این ناحیه ۸.۷۳ درصد از عدم توافقی شامل RF100 (نوع ۳ الف عدم توافقی: RF100<>GF) و ۵۴/۷۶ درصد شامل RF500 می‌شود (نوع ۳ ب عدم توافقی RF500<>GF).

مقایسه‌های انجام شده در این جدول تناقض‌های مهمی را بین نقشه‌های GF و RF روی مخروطه‌افکنه فریزی نشان می‌دهد. ۳۵/۸۲ درصد از کل ناحیه در تحلیل RF هستند؛ ولی در GF نیستند یا بالعکس (نوع ۲ و ۳ عدم توافقی). بیشترین مشکل در جمع‌بندی نتایج مربوط به نواحی می‌شود که خطر سیل به طور آشکارا در تحلیل RF وجود دارد ولی در نقشه GF تأیید نمی‌شود (نوع ۳ عدم توافقی). متقابلاً برخی نواحی GF با RF500 هم‌پوشانی دارند که معمولاً یک تناقض تفسیر می‌گردد (نوع ۱ عدم توافقی).

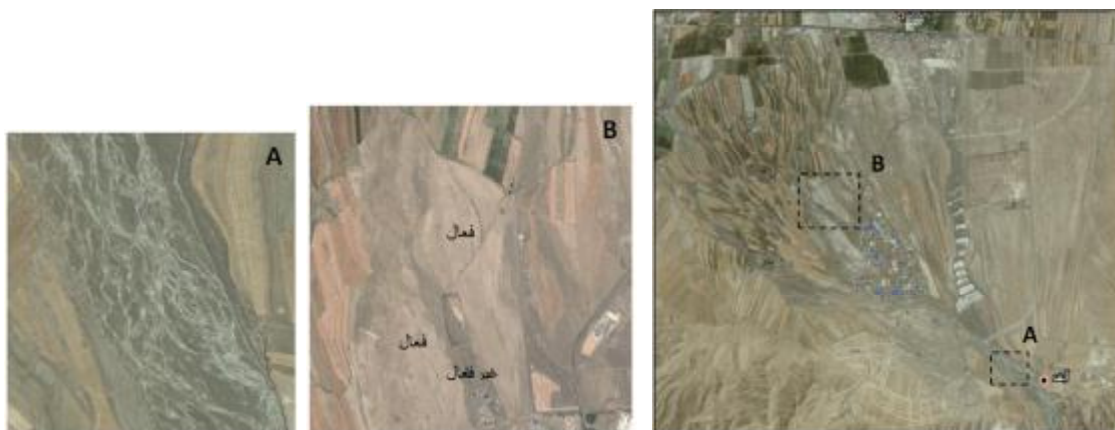
ذرات درشت رسوب‌ها و آبرفت‌ها بیشتر باشد، نفوذپذیری و سیل‌گیری مخروطه‌افکنه بیشتر خواهد بود همچنین هر چقدر ذرات (چه درشت و چه ریز) گردتر و مدورتر باشند، نفوذپذیری و سیل‌گیری بیشتر می‌شود. شکل ۱۰ یک نمونه از آزمایش دانه‌بندی صورت گرفته براساس رسوبات برداشت شده از قسمت رأس مخروطه‌افکنه را نشان می‌دهد. براساس نتایج، نواحی رأس و ابتدایی مخروطه‌افکنه فریزی بیشتر دارای رسوبات دانه درشت هستند. البته لازم است ذکر شود که در مخروطه‌افکنه فریزی به دلیل وجود اراضی کشاورزی متعدد، مخروطه‌افکنه دست خورده شده است و در نتیجه داشتن قضاوت صحیح در مورد مناطق مختلف آن بسیار مشکل است.

نتایج حاصل از بررسی‌ها با استفاده از اطلاعات ژئومورفولوژیکی در شکل ۱۱ نشان داده شده است، نواحی که جزء مناطق فعال مخروطه‌افکنه می‌باشد GF (Geomorphologic Flood plain) و قسمت‌های غیرفعال NGF (Not Geomorphologic Floodplain) نامیده شده‌اند.

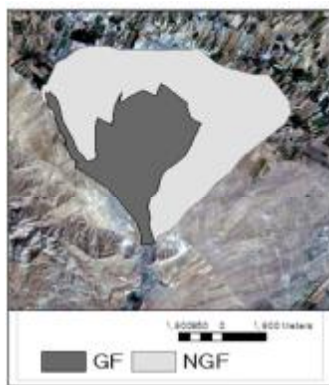
به منظور طبقه‌بندی نقاط پر خطر و کم خطر در دوره بازگشت صد سال روی مخروطه‌افکنه با استفاده از مدل HEC-RAS و FAN، نتایج حاصل از اشکال ۶ و ۷ را در داخل GIS با هم، هم‌پوشانی شده؛ به طوری که نواحی که هم داخل پهنه سیلاب HEC-RAS و هم در ناحیه مدل FAN قرار گرفتند، به‌عنوان نواحی با خطر بالای سیلاب معرفی شدند (A)، نواحی که در مدل FAN در داخل ناحیه (عمق ۰/۶ متر) و نواحی که روی پهنه سیلاب مدل HEC-RAS قرار گرفتند به‌عنوان نواحی خطرناک معرفی شدند (B)، نواحی که خارج از پهنه سیلاب مدل HEC-RAS و داخل ناحیه عمق ۰/۳ متر قرار گرفتند نواحی با خطر سیلاب متوسط معرفی شدند (C) و بقیه نواحی هم در گروه کم خطر (D) قرار گرفتند (شکل ۱۲). شکل ۱۳ نیز در واقع همان شکل ۱۲ است؛ با این تفاوت که در آن کل نتایج حاصل از مدل FAN روی نقشه با نتایج مدل HEC-RAS با هم به‌عنوان نواحی با احتمال سیلاب صد سال (RF100) نشان داده شده‌اند. در این شکل بقیه نواحی که خارج از محدوده RF100 قرار گرفته‌اند (نواحی با احتمال وقوع سیلاب بیشتر از صد سال) با RF500 نشان داده شده‌اند. در واقع براساس نتایج مدل FAN نواحی که عمق آن‌ها کمتر از ۰/۰۹ متر است

سیل گیر روی مخروط‌افکنه‌ها از آنجا ناشی شده است که پهنه‌های هیدرولیکی احتمال دوشاخه و چند شاخه شدن جریان را نمی‌دهند و صرفاً در کانال جریان موجود (اطراف) آن سیل‌گیری تحلیل می‌شود؛ در صورتی که همواره امکان انتقال کانال جریان به مسیری دیگر روی مخروط‌افکنه‌ها وجود دارد؛ بنابراین عدم توافقی‌های مورد اشاره دور از انتظار نیست.

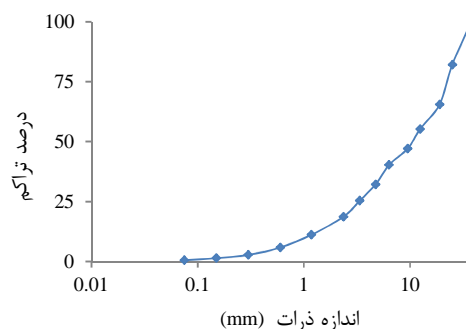
همچنین نشان می‌دهد که نوع ۲ عدم توافق وسعتی ندارد. دلیل این امر این است که RF کاملاً GF را در برگرفته است. هدف از این مقایسه‌ها، این است که نشان دهد نتایج حاصل شده با استفاده از روش FAN و HEC-RAS در صورتی که با نتایج حاصل از اطلاعات ژئومورفولوژی ترکیب شوند، می‌توانند خطر سیلاب را بهتر نشان دهند. ضرورت ذاتی کاربرد ژئومورفولوژی برای تعیین مناطق



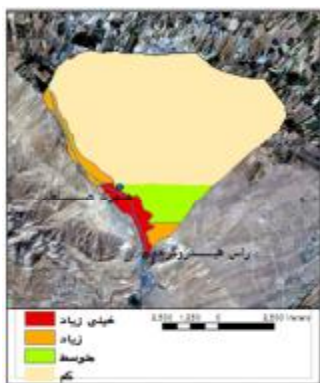
شکل ۸- (A) شبکه جریان توزیعی و متقاطع روی مخروط‌افکنه فریزی، (B) نواحی با رنگ روشن به‌عنوان مناطق فعال روی سطح مخروط‌افکنه فریزی



شکل ۱۱- نقشه خطر سیل حاصل از اطلاعات ژئومورفولوژیک (GF)



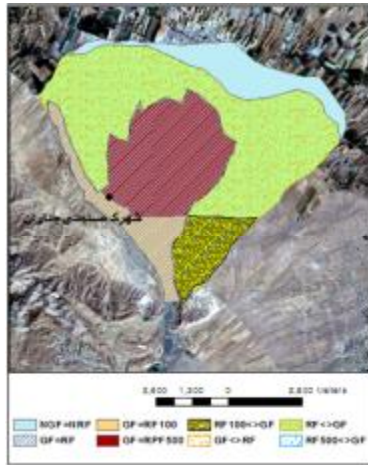
شکل ۹- نواحی فعال بدون پوشش گیاهی که به تازگی دچار سیلاب شده‌اند (مسیرهایی با رنگ روشنتر نسبت به بقیه مناطق) روی سطح مخروط‌افکنه



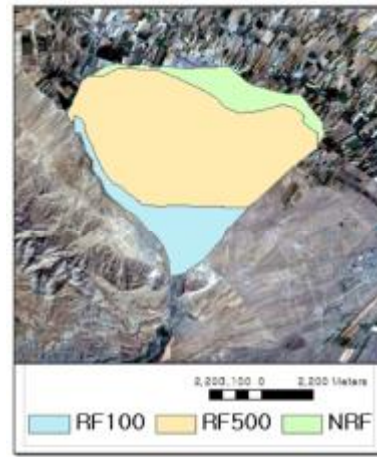
شکل ۱۲- ترکیب نتایج HEC-RAS و مدل FAN



شکل ۱۰- آزمایش دانه‌بندی از نمونه رسوبات برداشت شده از قسمت رأس مخروط‌افکنه



شکل ۱۴- مقایسه دو نقشه GF و RF



شکل ۱۳- نقشه خطر سیل (RF)

جدول ۴- اطلاعات به دست آمده از مقایسه نقشه RF و GF در منطقه مورد مطالعه

توضیحات	%RF	%GF	مخروطه افکنه فریزی (%)	مساحت (km ²)	
مخروطه افکنه فریزی			۱۰۰	۶۲/۸۳	
- تمام قسمت های فعال مخروطه افکنه	۳۶/۴۴	۱۰۰	۳۲/۷۲	۲۰/۵۶	GF
- نواحی سیلاب ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله	۱۰۰	۲۷۴/۳۶	۸۹/۷۸	۵۶/۴۱	RF
	۱۹/۱۲	۲۲	۱۷/۱۵	۱۰/۷۸	RF100
	۸۰/۸۸		۷۲/۶۳	۴۵/۶۳	RF500
توضیحات	%RF	%GF	مخروطه افکنه فریزی (%)	مساحت (km ²)	
هم پوشانی (%)					
نوع ۱- توافق	۰	۰	۱۱/۶۸	۷/۳۴	NGF=NRF
نوع ۲- توافق	۱۰۰	۳۶/۴۴	۳۲/۷۲	۲۰/۵۶	GF=RF
نوع ۲ الف- توافق	۲۸/۰۶	۱۰/۲۲	۹/۱۸	۵/۷۷	GF=RF100
نوع ۲ ب توافق/ نوع ۱- عدم توافق	۷۱/۹۴	۲۶/۲۱	۲۳/۵۳	۱۴/۷۹	GF=RF500
توضیحات	%RF	%GF	مخروطه افکنه فریزی (%)	مساحت (km ²)	
ناهم پوشانی (%)					
نوع ۲- عدم توافق	۰	۰	۰	۰	GF<>RF
نوع ۳- عدم توافق	۱۰۰	۶۳/۴۹	۵۷/۰۱	۳۵/۸۲	RF<>GF
نوع ۳ الف- عدم توافق	۱۳/۷۶	۸/۷۳	۷/۸۴	۴/۹۳	RF100<>GF
نوع ۳ ب- عدم توافق	۸۶/۲۴	۵۴/۷۶	۴۹/۱۶	۳۰/۸۹	RF500<>GF

نتیجه گیری

عرض مذکور محاسبه می کند. از طرف دیگر براساس مشاهدات میدانی و اطلاعات عکس های ماهواره ای نواحی دارای سیلاب اخیر (نواحی که به طور تقریبی در صد سال گذشته تحت سیلاب قرار گرفته اند) را به صورت فعال نمایش می دهد؛ بنابراین برای اینکه تصویر یکپارچه ای از مخاطره سیل به دست آید، باید هر سه نقشه با یکدیگر ادغام شوند. نتایج این روش روی مخروطه افکنه فریزی نشان می دهد که بعضی مناطق که احتمال خطر سیلاب در آن ها پایین است، در این روش با خطر بالا شناسایی شده اند؛ برای مثال شهرک صنعتی چناران در مکانی با خطر بالای سیلاب قرار گرفته است. بنابراین با استفاده از

همان گونه که در جدول ۴ مشاهده شد نتایج روش ها تفاوت هایی با یکدیگر دارند. این تمایز و تفاوت ها به دلیل آن است که هر روش بخشی از واقعیت سیل گیری را نشان می دهد. مثلاً HEC- RAS بیانی از احتمال خطر سیل در اراضی اطراف رودخانه را مدنظر قرار می دهد و در خود فرض عدم جابجایی رودخانه را مستتر دارد؛ در حالیکه این جابجایی کاملاً محتمل است. نتایج FAN فرض جابجایی جریان را محرز می داند. تحلیل این مدل، این است که تمامی عرض قسمت فعال مخروطه افکنه را مستعد سیل گیری می شناسد و عمق و سرعت سیلاب را براساس

- Report. PFHAM Refinement Study: Final Report. 29-74.
6. Fuller. 2013. Gaps in FEMA Guidance For Delineating Flood Hazards on Active Alluvial Fans. *Journal of Flood Engineering*. 4(1): 29-30.
 7. House P. K. 2005. Using Geology to Improve Flood Hazard Management on Alluvial Fans-an example from Laughlin, Nevada. *Journal of the American Water Resources Association*. 117(10): 1167-1180.
 8. Jeremy T. and Lancaster T. 2010. Mapping versus Hydrologic Modeling of Episodic Channels on Alluvial Fans, California Geological Survey. 335-348.
 9. Patricia L. and Parades J. 2004. Alluvial Fan Flooding in the Department of Pocito of San Juan, Argentina. 5-12.
 10. Philip A. and Pearthree J. E. 2004. Geomorphology and Hydrology of an Alluvial Fan Flooding on Tiger Wash, west central Arizona. *Arizona Geological Survey*, open file report 04-02. 115-133.
 11. US Army Corps of Engineers. 2004. Using Hydro geomorphic Surface for Delineating Floodplains: Black Water Creek Test Reach within the Upper Puerco Watershed, Navajo Nation.
 12. Welsh A. and Davies T. 2010. Identification of Alluvial fans Susceptible to Debris-flow Hazards. Original paper, springer.

این روش می‌توان نواحی با خطر بالا را شناسایی کرد و اقدامات لازم را برای جلوگیری از خسارات ناشی از سیلابها انجام داد. باید گفت که این روش را نمی‌توان به‌عنوان یک روش جانسین برای روش‌های موجود توصیه کرد؛ اما می‌تواند یک روش برای بهبود ارزیابی‌ها تلقی شود. اطلاعات ژئومورفولوژی دارای گونه‌ای از عدم قطعیت هستند که به راحتی قابل کمی‌کردن نیستند (آن چنان که نتایج مدل‌های عددی هستند) اگرچه بایستی گفت نتایج کمی (مثلاً مدل‌های هیدرولیکی) صرفاً نمی‌توانند دلیلی بر دقت نتایج باشند. از طرف دیگر، صرف کمی‌بودن یا توصیفی بودن اطلاعات ژئومورفیک نمی‌تواند دلیلی برای چشم‌پوشی از این اطلاعات باشد. نتایج تحقیقات صورت گرفته روی مخروط‌افکنه‌های مرکز آریزونا که توسط فولر در (۲۰۱۲ ب) صورت گرفته، نشان می‌دهد که با توجه به اینکه عدم قطعیت جریان فرآیندی است که خطر سیلاب را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین پیشنهاد شده است که تأثیر این پدیده روی مخروط‌افکنه‌ها به‌عنوان یک عامل بسیار مهم در خطر سیلاب‌های مخروط‌افکنه‌ای در مطالعات خطر سیلاب روی مخروط‌افکنه‌ها مورد بررسی قرار گیرد. همچنین در نظر گرفتن ویژگی‌های ژئومورفولوژیک منطقه به‌عنوان ابزاری که می‌تواند درک مناسبی از پدیده سیل‌گیری داشته باشد، ضروری است.

منابع

۱. وزارت نیرو، معاونت امور آب و آبفا. ۱۳۸۹. راهنمای مطالعات رودخانه‌های مخروط‌افکنه‌ای. نشریه شماره ۳۶۳ الف. ۸۷-۹۸.
2. Dawdy D. R. 1979. Flood Frequency Estimates on Alluvial Fans, *Journal of Hydraulic Division*. ASCE. 105(11): 1407-1412.
3. FEMA. 2003. FEMAS Flood Hazard Mapping Program. Guidelines and Specifications For Flood Hazard Mapping Partner. Appendix G: Guidance for Alluvial fan Flooding Analyses and Mapping. 1-26.
4. Fuller J. E. 2012 a. Theoretical And Practical Deficiencies in the FEMA FAN Methodology, *Arizona Geological Survey Contributed Report CR-12-B*, Tucson, Arizona. 3-33.
5. Fuller. 2012 b. Alluvial Fan Flood Hazard Identification and Mitigation Methods Final