



## Prediction of Avulsion Phenomenon on Alluvial Fans Using FLO-2D Hydraulic Model

Z. Mollaee<sup>1\*</sup>, H. Madani<sup>2</sup>, A.R. Faridhosseini<sup>3</sup>  
and K. Davary<sup>4</sup>

### Abstract

The risk of flood incorporated with the potential of channel shift across the width of alluvial fans may cause substantial damages. This shift is called avulsion. The earlier methods of determining avulsion on alluvial fans (such as FAN mathematical model) were received negative criticism and did not give accurate results. Given that flow on alluvial fans is two-dimensional, FLO-2D model was used in this research to identify the areas with avulsion potential. The avulsion phenomenon was studied on two alluvial fans in Iran; one in the North-east (Ferizi) and one in the south-east (Sarbaz). Using this model, flow was simulated based on 100 and 500-year discharges. Then areas with avulsion potential were identified by plotting the results of the model on the recent aerial photographs of the alluvial fans. Results showed that massive evulsions had happened in the areas with no expectation of such phenomenon. Thus, using this method can help to identify areas with avulsion risk and reduce the potential damages caused by it.

**Keywords:** Avulsion, Alluvial fan, FLO-2D model

Received: September 3, 2014

Accepted: August 27, 2015

## پیش‌بینی پدیده جدشدگی جریان از مسیر اصلی‌اش بر روی مخروط افکنه‌ها با استفاده از مدل هیدرولیکی FLO-2D

زینب ملایی<sup>۱\*</sup>، حمید مدنی<sup>۲</sup>، علیرضا فرید حسینی<sup>۳</sup>  
و کامران داوری<sup>۴</sup>

### چکیده

خطرهای ناشی از سیل بر روی مخروط افکنه با پتانسیل تغییر مکان آبراهه در سرتاسر عرض مخروط افکنه ادغام شده و باعث خسارات فراوانی می‌گردد. این تغییر مکان جدشدگی (avulsion) نامیده می‌شود. با توجه به اینکه جریان بر روی مخروط افکنه‌ها دو بعدی می‌باشد از یک مدل دو بعدی بنام FLO-2D برای شناسایی نواحی با پتانسیل جدشدگی جریان در این پژوهش استفاده گردیده است. این پژوهش بر روی دو مخروط افکنه یکی (فریزی) در شمال شرقی و دیگری (سرباز) در جنوب شرقی ایران صورت گرفته است. با استفاده از این مدل جریان بر اساس دبی ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله شبیه سازی شد، سپس با استفاده از تصاویر هوایی اخیر از مخروط افکنه با پلات کردن نتایج این مدل روی این عکس‌های هوایی، نواحی که پتانسیل جدشدگی جریان دارند شناسایی گردید. برخی از این جدشدگی‌ها بیشتر در نواحی رخ داده اند که تاکنون احتمال خطر سیل در آنها وجود نداشته است، در حالی که نتایج نشان از وقوع جدشدگی‌های بزرگی بر روی آنها را می‌دهد. بنابراین استفاده از این روش می‌تواند به شناسایی نواحی با ریسک جدشدگی کمک کند و خسارات احتمالی ناشی از آن را کاهش دهد.

**کلمات کلیدی:** جدشدگی جریان، مخروط افکنه، مدل FLO-2D

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۶/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۶/۵

1- M.Sc. graduate, Drainage and Irrigation Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran; moolae@gmail.com

2- M.Sc. graduate, Water Resources Management, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

4- Associated Professor, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

\*- Corresponding Author

۱- کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- کارشناس ارشد مدیریت منابع آب گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

\*- نویسنده مسئول

مورد نقد قرار گرفت (Fuller, 2012a). این مدل امروزه به صورت خیلی کم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بررسی تحقیقات و تمام مطالعات صورت گرفته بر روی مخروط‌افکنه‌ها نشان می‌دهند که عوامل فیزیکی متعددی باعث جداسدگی بر روی مخروط افکنه‌ها می‌گردد. برخی از این ویژگی‌ها در جدول ۱ شرح داده شده‌اند (Fuller, 2012c).

بر اساس مطالعات صورت گرفته می‌توان مشاهده کرد که در واقع استاندارد مهندسی مشخصی برای ارزیابی جداسدگی جریان روی مخروط افکنه‌ها وجود ندارد. اگرچه شباهت‌های بنیادی بین روش‌هایی که بر اساس مهارت‌های مهندسی و ژئومورفولوژیک استفاده می‌شود وجود دارد، اما روش‌هایی که ذکر گردید و تاکنون صورت گرفته هر کدام کم و کاستی‌هایی دارند که نمی‌توانند جداسدگی را بر روی مخروط افکنه‌ها بطور دقیق تعیین کنند. اخیراً به جای استفاده از مدل‌های ریاضی مانند FAN PROGRAM از مدل دوبعدی FLO-2D برای شناسایی ریسک جداسدگی بر روی مخروط افکنه استفاده می‌گردد. این مدل برای تخمین عمق و سرعت، پیش‌بینی نواحی آبگرفتگی، و شبیه‌سازی جریان به‌کار می‌رود (O'Brien, 2007). این مدل یک ابزار مناسب برای مدیریت سیلابدشت و ریسک سیلاب می‌باشد و قابلیت شبیه‌سازی سیلاب‌های مخروط‌افکنه‌ای و جریانات واریزه‌ای و جریانات گلی را نیز دارا می‌باشد. اولین نسخه این مدل توسط ستاد مدیریت بحران امریکا برای مطالعات بیمه سیل در نواحی شهری در ایالت کلرادو مورد استفاده قرار گرفت. همچنین این مدل توسط هیاتی از متخصصان در امریکا برای سیلاب‌های ناپایدار بخصوص بر روی مخروط افکنه‌ها مورد پذیرش قرار گرفته است. از جمله Fuller که مطالعات گسترده‌ای بر روی مخروط افکنه‌های آریزونا انجام داده است. وی با استفاده از مدل FLO-2D جریان سیلاب را بر اساس Q100, Q500 و QPMP شبیه‌سازی کرد. بدین صورت که با تلفیق نتایج مدل FLO-2D و عکس‌های هوایی منطقه، توانست نواحی دارای پتانسیل جداسدگی بر روی مخروط افکنه‌ها را شناسایی کند (Fuller, 2012b).

این مطالعه بر روی ۲ مخروط افکنه در شمال شرقی و جنوب شرقی ایران صورت گرفته است. با توجه به خساراتی که این نواحی در اثر سیلاب داشته‌اند و قرارگیری نقاط مسکونی و صنعتی بر روی این مخروط‌افکنه‌ها و با توجه به خطراتی که جداسدگی می‌تواند داشته باشد، تعیین جداسدگی بر روی این مخروط‌افکنه‌ها ضروری است. بنابراین با شناسایی نواحی دارای پتانسیل جداسدگی بر روی این

جداسدگی جریان از کانال اصلی‌اش بر روی مخروط افکنه‌ها یک پدیده کاملاً محتمل می‌باشد و تأثیر فراوانی بر روی ریسک سیلاب‌های مخروط افکنه‌ای دارد. اگر مخروط افکنه ریسک جداسدگی نداشته باشد ریسک سیلاب ساده‌تر از زمانی که جداسدگی داشته باشد با استفاده از مدل‌های دو بعدی قابل تعیین است. در واقع جداسدگی همراه می‌باشد با: ۱. عدم قطعیت و تغییر مکان جریان در فاصله بین دو سیلاب ۲. ریسک آبگرفتگی و رسوب در نواحی که قبلاً دچار سیلاب نشده‌اند ۳. ناپایداری و تغییر سرعت جریان، ۴. تغییر نسبت توزیع جریان در نواحی پائین دست جداسدگی (Fuller, 2012c). مطالعاتی که در گذشته بر روی جداسدگی صورت گرفته می‌تواند به صورت زیر طبقه‌بندی شود:

- بر اساس مشاهدات و شواهد تاریخی: برای شناسایی جداسدگی جریان از کانال اصلی‌اش می‌توان از فاکتورهایی مانند: الگوی کانال، سن و جنس سطوح و توپوگرافی منطقه استفاده کرد. مثلاً الگوی شعاعی کنتور یکی از راه‌های تعریف پتانسیل جداسدگی و درجه خمیدگی خطوط کنتور به طور مستقیم متناسب با ریسک جداسدگی می‌باشد. سطوحی که از نظر زمین شناسی سازندهای جوان دارند فعال از لحاظ سیل گیری و در نتیجه دارای پتانسیل جداسدگی هستند. همچنین شبکه کانال‌های توزیعی، کانال‌های بدون پوشش یا با حداقل پوشش دارای پتانسیل جداسدگی می‌باشند. از افرادی که مطالعاتی با استفاده از این روش انجام داده‌اند می‌توان: Field, (2001), Hjalmarsen, (1991) و Tornqvist, (2003) را نام برد که جداسدگی را در مرکز و جنوب آریزونا مورد بررسی قرار دادند.

- مدل‌های فیزیکی: این مدل‌ها نشان می‌دهند که جداسدگی در هر نقطه‌ای از مخروط در فاصله بین راس تا پنجه اتفاق می‌افتد همچنین جداسدگی به طور مستقیم با دبی رابطه دارد اما با ذخیره رسوب رابطه کمی دارد. این مدل‌ها نمی‌تواند به طور مستقیم توانایی ما را برای پیش‌بینی وقوع و تناوب این پدیده افزایش دهند. همچنین به طور واضح علت جداسدگی را ارزیابی نمی‌کنند (Bryant 1995), Hooke (1965).

- مدل‌های ریاضی: مدل FAN PROGRAM می‌باشد که این مدل توسط Dawdy برای تعیین ریسک سیلاب بر روی مخروط‌افکنه استفاده می‌شود. علاوه بر آن برای تعیین تأثیر جداسدگی بر روی مخروط‌افکنه‌ها نیز بکار می‌رود (Dawdy, 1979 و FEMA, 1990). اگرچه نظریه Dawdy اولین مدلی بود که توسط ستاد مدیریت بحران امریکا (FEMA) مورد پذیرش قرار گرفت، اما به سرعت توسط بسیاری از متخصصان

مخروط افکنه‌ها می‌توان اقدامات لازم برای جلوگیری از خسارات ناشی از سیلاب را انجام داد. همانطور که گفته شد استفاده از مدل بعدی FLO-2D ابزاری موفق برای تعیین ریسک سیلاب و جداسازی می‌باشد که در این مطالعه از این مدل استفاده گردیده است. هدف از این مطالعه، پیش بینی نواحی با پتانسیل جداسازی و تأثیر ریسک این پدیده بر روی دو مخروط افکنه مورد مطالعه با استفاده از مدل هیدرولیکی دو بعدی FLO-2D می‌باشد.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

این مطالعه بر روی دو مخروط افکنه صورت گرفته است. مخروط افکنه سرباز در جنوب شرقی ایران واقع در استان سیستان و بلوچستان در شهرستان سرباز در طول جغرافیایی  $۸۵^{\circ} ۱۲' ۲۶''$  و عرض جغرافیایی  $۲۰,۳۳' ۴۴'' ۶۱^{\circ}$  قرار گرفته است. این منطقه با خصوصیات مانده کمی نزولات جوی، درجه حرارت بالا، رطوبت نسبی اندک، پوشش گیاهی فقیر و میزان فرسایش آبی و بادی زیاد شناخته می‌شود. این مخروط افکنه در نتیجه رسوبات ناشی از رودخانه سرباز به‌وجود آمده است. این منطقه غالباً از رسوبات تخریبی

با دانه بندی درشت تشکیل یافته است. و ضخامت لایه آبدار در آن زیاد می‌باشد. این مخروط افکنه کاملاً دست نخورده می‌باشد. در این ناحیه بارش‌ها به صورت رگبار می‌آید که باعث وقوع سیلاب‌های بزرگی شده است. مخروط افکنه فریزی در دامنه شمالی رشته کوه بینالود در شمال شرق ایران، واقع در استان خراسان در طول جغرافیایی  $۴۵^{\circ} ۰۵' ۳۴'' ۳۶^{\circ}$  و عرض جغرافیایی  $۲۷,۶۸' ۰۵' ۵۹''$  قرار گرفته است. این مخروط از لحاظ اقلیم در منطقه‌ای با آب و هوای سرد و نیمه خشک قرار گرفته است. مخروط افکنه فریزی در نتیجه فرسایش حوضه بزرگ رودخانه فریزی و رسوب‌گذاری این رودخانه تشکیل شده است. و بدلیل عمق افزون‌تر و دانه‌بندی ریزتر، دارای خاک حاصلخیز و مستعد کشاورزی بوده و منابع آب سطحی و زیر زمینی آن غنی می‌باشد. بهمین دلیل سکونتگاه‌های شهری و روستایی مهم تری در پایکوه‌های این بخش تولد یافته و زمین‌های با کشت گسترده‌تری رونق یافته است. شکل ۱ موقعیت هر کدام از این دو مخروط افکنه را نشان می‌دهد. ویژگی‌های این دو مخروط افکنه بر اساس مساحت، شیب، دبی و نوع جریان در جدول ۲ نشان داده شده است.

## جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی موثر بر جداسازی جریان روی مخروط افکنه

ویژگی	توضیحات
فیزیوگرافی مخروط	
<ul style="list-style-type: none"> <li>شیب مخروط</li> <li>پوشش گیاهی سیلابدشت</li> <li>مقاومت به فرسایش</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>مخروط‌ها با شیب تندتر تجربه جداسازی بیشتری دارند.</li> <li>تأثیر بر روی انتقال و پایداری جریان دارد.</li> <li>کم شدن چسبندگی (cohesive) خاک سیلابدشت، آنرا متمایل به جداسازی می‌کند.</li> <li>زهکش‌ها با مساحت بزرگ، دبی و حجم بیشتری دارند و دارای پتانسیل جداسازی بیشتری می‌باشند.</li> <li>ضعیف بودن خطوط کنتور، پتانسیل جداسازی بزرگتری را نشان می‌دهد.</li> </ul>
دبی	
<ul style="list-style-type: none"> <li>حجم سیل</li> <li>ترتیب وقوع سیل</li> <li>سرریز شدن جریان از کناره‌ها (Overbank flooding)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>حجم بالای سیل باعث توانایی بیشتر برای جداسازی می‌شود</li> <li>برای ایجاد جداسازی مهم و تأثیرگذار است.</li> <li>این عامل یک وضعیت ضروری برای وقوع جداسازی است.</li> </ul>
الگوی جریان	
<ul style="list-style-type: none"> <li>جریان ورقه ای</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>جداسازی بیشتر در نواحی جریانات ورقه ای رخ می‌دهد.</li> </ul>
انتقال رسوب	
<ul style="list-style-type: none"> <li>ذخیره رسوب</li> <li>پتانسیل جریان واریزه ای</li> <li>آبرفت گذاری</li> <li>شیب</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>هر چه ذخیره رسوب بیشتر باشد تناوب جداسازی بیشتر است.</li> <li>جداسازی معمولاً روی مخروط واریزه ای رخ می‌دهد.</li> <li>آبرفت گذاری یک وضعیت ضروری برای جداسازی است.</li> <li>هرچه شیب تندتر باشد احتمال وقوع جداسازی بیشتر خواهد بود.</li> </ul>

هچنین آبرفت گذاری و ذخیره رسوب در این منطقه بالاست که تمام اینها از دیگر عواملی هستند که باعث وقوع جداشدگی بر روی این مخروط‌افکنه شده‌اند.

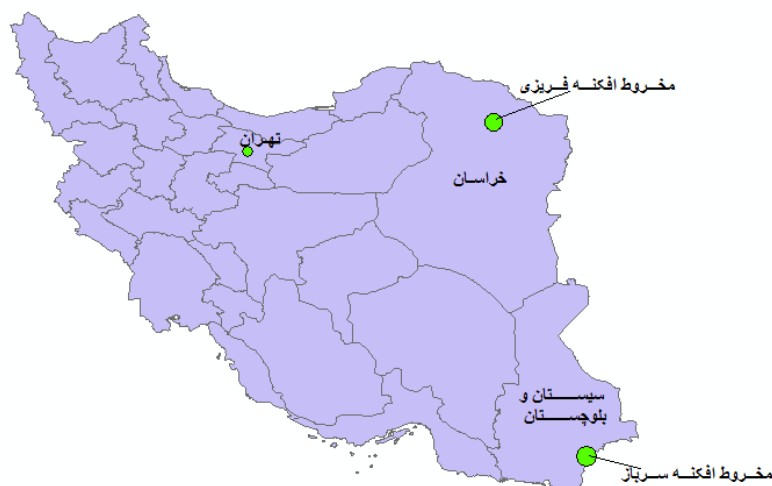
مخروط‌افکنه فریزی به دلیل اقدامات کشاورزی بر روی آن، دستخوش تغییر گردیده است. با بازدید میدانی صورت گرفته از این مخروط‌افکنه و مشاهده تصاویر Google earth می‌توان دریافت که یک جداشدگی بزرگ درست در زیر راس هیدروگرافی آن رخ داده است. اما اخیراً این جداشدگی دستخوش تغییر قرار گرفته و طرح تغذیه مصنوعی بر روی آن صورت گرفته است. از طرفی شهرک سازی بر روی این مخروط‌افکنه و اقدامات کشاورزی بر روی برخی از نواحی این مخروط باعث شده است که اگر جداشدگی هم بر روی آن رخ داده بوده با این اقدامات از بین رفته باشد. شکل ۳ موقعیت جداشدگی بر روی این مخروط‌افکنه را نشان می‌دهد. جداشدگی A که از نوع MAJOR می‌باشد بر روی تصویر مشخص شده است. همچنین جداشدگی‌های کوچک دیگری هم بر روی این مخروط مشاهده می‌شود که خیلی به چشم نمی‌آیند. از دلایلی که باعث فقدان جداشدگی بر روی این مخروط‌افکنه شده است می‌توان شیب کم منطقه، دبی کم و همچنین اقدامات کشاورزی و شهرک‌سازی را نام برد.

جدول ۲- ویژگی‌های مخروط‌افکنه‌های مورد مطالعه

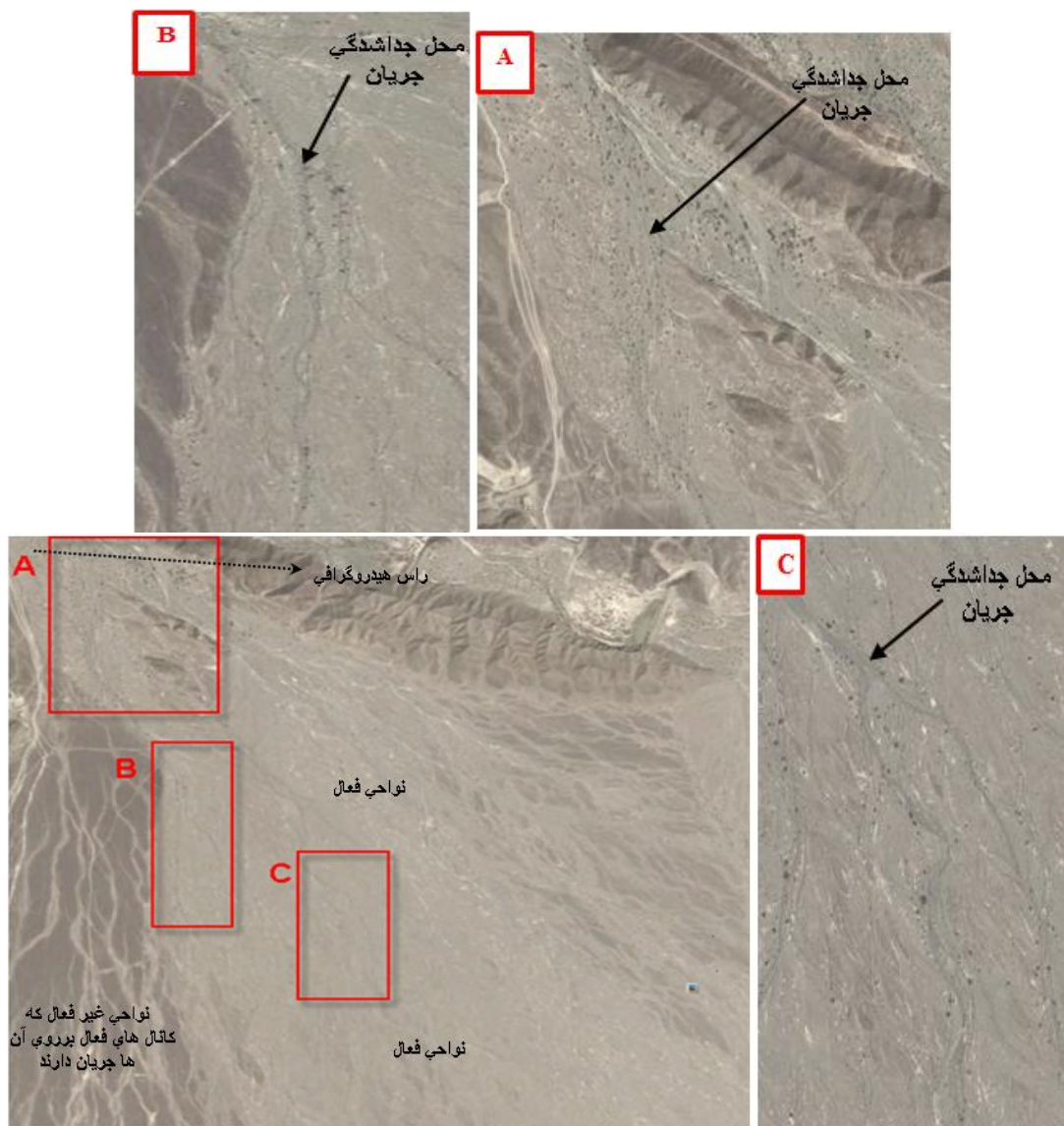
سرپاز	فریزی	
۷۰	۱۵۵	مساحت مخروط‌افکنه (km <sup>2</sup> )
۱,۰۳	۱,۸۳	شیب مخروط‌افکنه (%)
۱۰۸	۸۰/۸	دبی ۱۰۰ ساله (m <sup>3</sup> /s)
۲۰۳	۱۱۸	دبی ۵۰۰ ساله (m <sup>3</sup> /s)

با بازدید میدانی، استفاده از نقشه توپوگرافی منطقه، نقشه زمین شناسی منطقه و مشاهده تصاویر Google earth از مخروط‌افکنه سرپاز که در شکل ۲ مشخص شده است می‌توان دریافت که این مخروط‌افکنه دارای ۳ جداشدگی می‌باشد. جداشدگی A در نزدیکی راس مخروط قرار گرفته و B و C در نواحی میانی مخروط می‌باشند. جداشدگی A از نوع MAJOR می‌باشد در حالی که بقیه جداشدگی‌ها از نوع MINOR می‌باشد. جداشدگی‌های بزرگ در این ناحیه در نواحی فعال مخروط و نزدیک به راس هیدروگرافی رخ داده است. جداشدگی‌های کوچک روی نواحی میانی و قسمت‌های جریانات ورقه‌ای اتفاق افتاده است. نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهند که، این ناحیه بیشتر از رسوبات آبرفتی عهد حاضر تشکیل شده است. از طرفی رسوبات آبرفتی دوران چهارم به صورت دگر شیب بر روی تشکیلات قدیمی‌تر قرار گرفته اند. که این نشان دهنده این است که سیلاب‌های اخیر حجم بالایی از رسوبات را با خود به این ناحیه آورده اند و این مناطق را تبدیل به مناطقی فعال از لحاظ سیلاب کرده‌اند. شکل ۲ تقسیم بندی مخروط‌افکنه سرپاز را بر اساس تعداد و نوع جداشدگی (MAJOR, MINOR) موجود در آن را نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد تنها یک جداشدگی MAJOR روی این مخروط وجود دارد که این می‌تواند ناشی از این باشد که اخیراً سیلاب بزرگی در این دوره ثبت نشده است. با استفاده از اطلاعات جدول ۱ می‌توان دریافت که، مهم ترین عامل در وقوع جداشدگی‌های کوچک در این منطقه حجم بالای رسوب و وجود پشته‌های رسوبی بوده است. وجود شبکه کانال‌های توزیعی نیز از دلایل وجود جداشدگی بر روی این مخروط‌افکنه می‌باشد. مخروط‌افکنه سرپاز دارای دبی پیک بالا و پوشش گیاهی ضعیف می‌باشد



شکل ۱- موقعیت مخروط‌افکنه‌های مورد مطالعه



شکل ۲- انواع جداشدگی جریان بر روی مخروط افکنه سرباز جداشدگی A (MAJOR) و جداشدگی های B و C (MINOR)

### ۳- مواد و روش‌ها

ورودی جریان می‌باشد تا شبیه‌سازی انجام شود. این مدل بر اساس معادلات پیوستگی و معادله حرکت (معادله موج مومنتم) جریان را روندیابی می‌کند.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hv}{\partial x} = i \quad (1)$$

$$S_f = S_0 - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \quad (2)$$

$h$ : عمق جریان،  $v$ : سرعت جریان،  $I$ : شدت بارش و  $S_f$ : شیب خط انرژی و  $S_0$ : شیب بستر. بنابراین استفاده از نقشه توپوگرافی با دقت بسیار بالا و انتخاب سائز مناسب برای شبکه بندی داخل مدل، نقش بسیار مهمی در دقت نتایج دارد. زیرا نتایج مدل به این دو پارامتر بسیار حساس می‌باشد. در این مطالعه، مدل با شبکه‌هایی با فاصله ۲۵ متر برای هر کدام از مساحت‌های مناطق مورد مطالعه اجرا شده است.

به منظور پیش‌بینی پتانسیل جداشدگی بر روی مخروط افکنه‌های مورد مطالعه از مدل FLO-2D استفاده گردیده است. این مدل دو بعدی برای شبیه‌سازی جریان در رودخانه، جریانات واریزه‌ای و گلی و سیلاب‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی سیلاب روی مخروط افکنه‌های گسترش یافته و سیلابدشت‌ها از مهم‌ترین ویژگی‌های این مدل می‌باشد. برای شبیه‌سازی سیلاب در این مدل دو گام مهم وجود دارد ابتدا باید نقشه رقومی زمین (DTM) از منطقه تهیه گردیده و با شبکه بندی که داخل مدل انجام می‌دهیم هم پوشانی شود. بنابراین هرکدام از شبکه‌های موجود داخل مدل دارای یک ارتفاع می‌باشند. در مرحله بعد نیاز به یک هیدروگراف



شکل ۳- موقعیت جداولدگی جریان بر روی مخروط افکنه  
فریزی شامل جداولدگی A (MAJOR)

اتفاق بیافتد لازم است که انرژی کافی برای فرسایش سطح سیلابدشت وجود داشته باشد. بر اساس نتایج مطالعات صورت گرفته رابطه ای وجود دارد بین سرعت جریان و فرسایش سطح، که نتایج مطالعاتی که تاکنون صورت گرفته نشان می‌دهد که سطح مخروط افکنه با سرعت بیشتر از ۲ متر بر ثانیه در معرض فرسایش قرار می‌گیرد. بنابراین با بدست آمدن نتایج سرعت از مدل FLO-2D می‌توان نواحی که دارای سرعت‌های بیشتر از ۲ متر بر ثانیه می‌باشند را به عنوان نواحی با پتانسیل جداولدگی شناسایی کرد.

طبقه بندی ریسک: مدل FLO-2D یک سری جداولی را تهیه کرده است که در واقع میزان درجه بندی ریسک را بر اساس عمق و سرعت نشان می‌دهد. میزان ریسک سیلاب بر اساس ۳ رنگ: درجه بالا (قرمز)، متوسط (نارنجی) و کم (زرد) بر روی نقشه مشخص گردیده است. بنابراین می‌توان پتانسیل ریسک جداولدگی را با استفاده از این روش و نواحی که احتمال بیشتری برای وقوع جداولدگی دارند را با استفاده از این جداول شناسایی کرد. همچنین با یکی کردن این نتایج بر روی عکس‌های هوایی اخیر از منطقه می‌توان نواحی که با شبکه کانال‌های موجود بر روی مخروط افکنه رابطه ندارند، درحالی که نتایج مدل نشان از پتانسیل جداولدگی بر روی آن‌ها دارد را شناسایی کرد. این طبقه بندی در شکل ۴ نشان داده شده است. تمام روش‌های ذکر شده تاکنون تلاش می‌کنند که قسمتهایی از مخروط افکنه که کانال روی آنها وجود ندارد اما احتمال جداولدگی در آن جا هست را شناسایی کنند. در هر ۳ روش

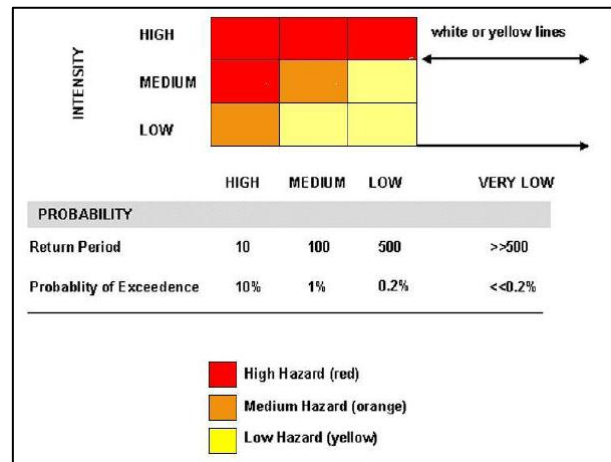
نقشه‌های توپوگرافی با دقت ۳ متر برای هر کدام از مناطق مورد استفاده قرار گرفته است. مقدار ضریب زبری نیز بر اساس کاربری اراضی منطقه در نظر گرفته شده است.

این روش شامل:

۱- نتایج مدل FLO-2D بر اساس دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال و ۵۰۰ سال: مدل هیدروگراف سیلاب را روی سطح مخروط افکنه بر اساس اطلاعات توپوگرافی و دیگر پارامترها در مدل شبیه‌سازی می‌کند. در این روش هیدروگراف دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ و ۵۰۰ سال انتخاب شده است. حال برای شناسایی پتانسیل جداولدگی بر روی مخروط افکنه، با پلات کردن نتایجی که مدل شبیه‌سازی کرده بر روی عکس هوایی اخیر از مخروط افکنه، می‌توان نواحی با پتانسیل جداولدگی را شناسایی کرد. این هم پوشانی نشان می‌دهد، کانال‌هایی وجود دارند که بر روی عکس هوایی مشاهده نمی‌شوند در حالی که نتایج شبیه‌سازی مدل این کانال‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج مطالعاتی که تاکنون صورت گرفته حداقل عمق ۱ متر به عنوان آستانه جداولدگی بر روی مخروط افکنه پذیرفته شده است (Pearthree (2004). بنابراین با استفاده از این روش می‌توان پتانسیل جداولدگی که در طول ۱۰۰ سال ممکن است بر روی مخروط افکنه رخ بدهد را شناسایی کرد.

۲- نتایج مدل FLO-2D بر اساس سرعت: همانطور که در جدول ۱ گفته شد OVERBANK یکی از ویژگی‌هایی است که باعث جداولدگی بر روی مخروط افکنه می‌شود. برای اینکه این پدیده

موقعیت پتانسیل جداولی، به وسیله پلات کردن نتایج مدل FLO-2D بر روی عکس‌های هوایی اخیر از مناطق تعریف می‌گردد.



شکل ۴- جدول طبقه‌بندی ریسک سیلاب بر گرفته از (FLO-2D Mapper Manual version, 2009)

#### ۴- نتایج

##### ۴-۱- نتایج مدل FLO-2D بر اساس دبی ۱۰۰ سال و ۵۰۰ سال

همانطور که شکل A۵ نشان می‌دهد، تعداد ۵ جداولی با دبی ۱۰۰ ساله در مخروط افکنه سرباز وجود دارد. یک جداولی بزرگ در نواحی میانی مخروط افکنه (با رنگ مشکی بر روی شکل مشخص شده است) و ۴ جداولی کوچک (با رنگ نارنجی بر روی شکل مشخص شده است) در حوالی آن اتفاق افتاده است. همچنین یک جداولی بر اساس دبی ۵۰۰ ساله نیز در نواحی میانی مخروط افکنه (با رنگ قرمز معلوم گردیده است) نیز مشاهده می‌شود. با توجه به نتایج مدل می‌توان دریافت که تعداد جداولی روی آن اندک می‌باشد که یکی از دلایل آن می‌تواند وجود شبکه متراکم زهکشی بر روی این مخروط باشد که مانعی برای شناسایی جداولی‌های بیشتر بر روی این مخروط افکنه شده است. همچنین می‌توان دریافت که جداولی بیشتر در نواحی میانی اتفاق افتاده است و از رأس هیدروگرافی منطقه فاصله دارد جداولی‌های موجود در نواحی میانی می‌تواند برای بسیاری از روستاها و نواحی مسکونی که معمولاً در قسمت‌های میانی و پایینی مخروط افکنه قرار می‌گیرند خطرناک باشد. نتایج مدل بر روی مخروط افکنه فریزی وجود ۱ جداولی بزرگ (با رنگ مشکی بر روی شکل مشخص شده است) و ۳ جداولی کوچک (که با رنگ نارنجی بر روی شکل B۵ مشخص شده‌اند) را برای سیلاب ۱۰۰ ساله نشان می‌دهد همانطور که مشاهده می‌گردد جداولی بزرگ تقریباً در فاصله کمی از رأس

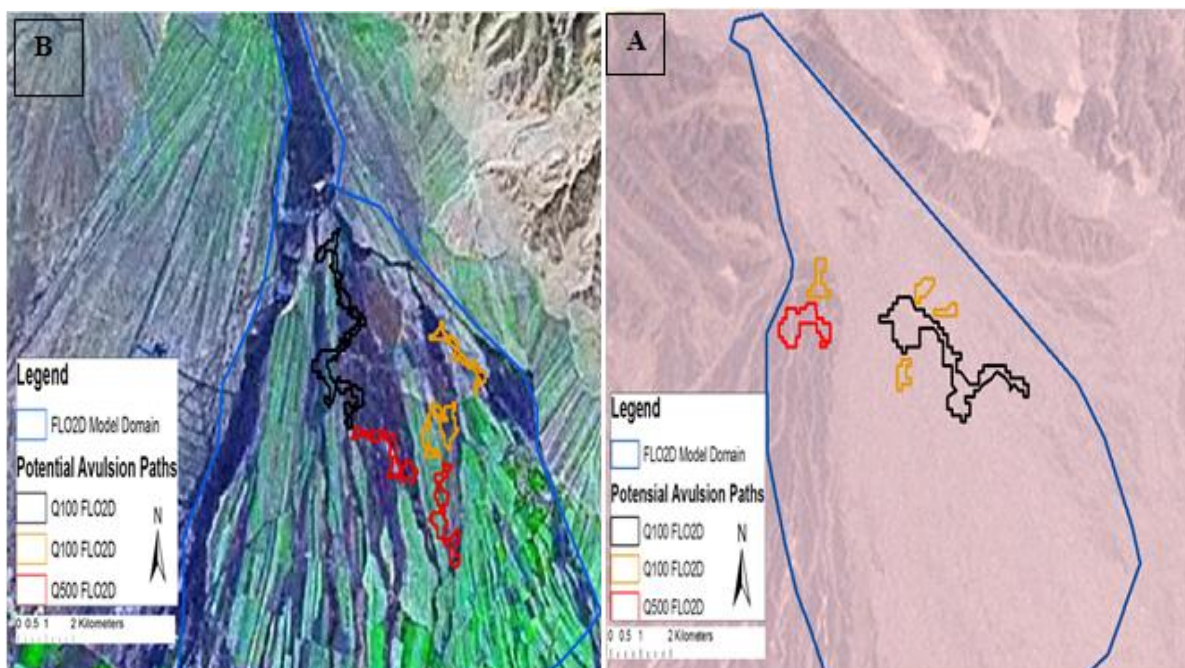
هیدروگرافی قرار گرفته است. دو جداولی کوچک در نواحی میانی مخروط افکنه رخ داده‌اند. همچنین دو جداولی بر اساس سیلاب ۵۰۰ ساله (با رنگ قرمز بر روی شکل مشخص شده است) بر روی مخروط مشاهده می‌شود که این جداولی‌ها تقریباً در نواحی میانی و پائینی مخروط افکنه رخ داده‌اند. از طرفی شهرک صنعتی چناران درست در مکان جداولی بزرگ ۱۰۰ ساله قرار گرفته است. بنابراین با توجه به اینکه مخروط افکنه فریزی تقریباً دست خورده شده است اما پتانسیل جداولی روی برخی از نواحی آن مشاهده می‌گردد.

##### ۴-۲- نتایج مدل FLO-2D بر اساس سرعت

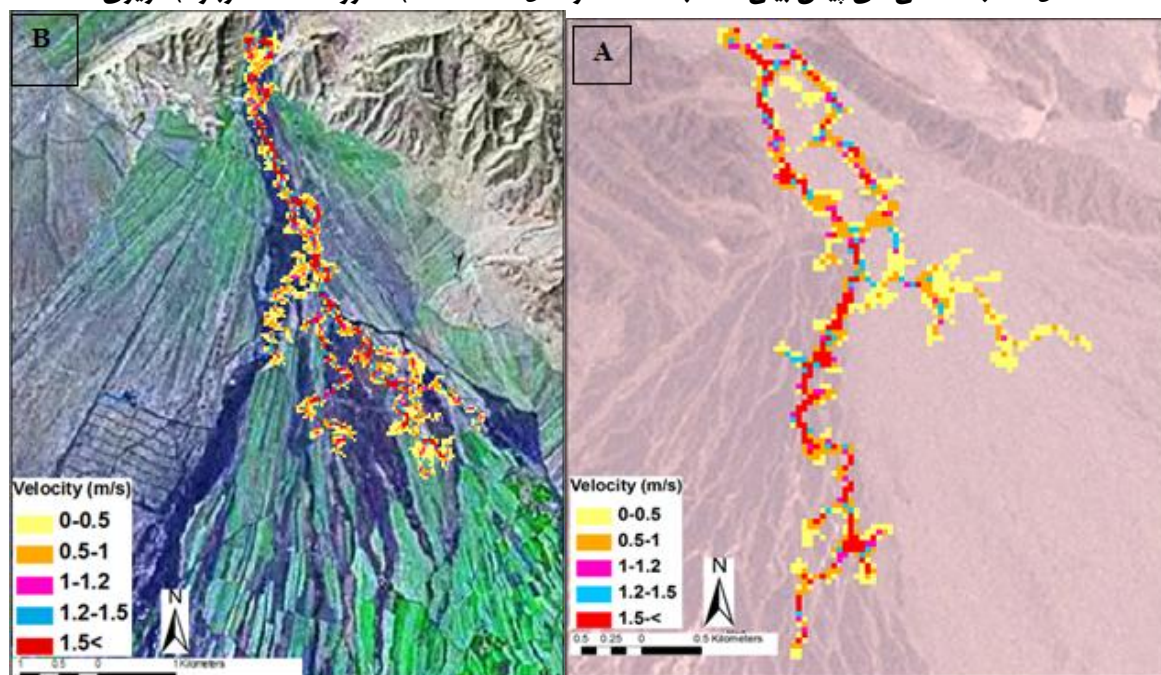
شکل ۶ نتایج حاصل از اطلاعات سرعت که در مدل FLO-2D به دست آمده است را نشان می‌دهد که هر سرعت با رنگ جداگانه مشخص شده است. نتایج حاصل از مدل بر روی مخروط افکنه فریزی نشان می‌دهد که سرعت در نزدیکی رأس هیدروگرافی بسیار زیاد اما در نواحی میانی و پائینی مخروط کم می‌شود. در حالی که در مخروط افکنه سرباز سرعت در نواحی میانی زیاد می‌باشد. این نشان می‌دهد که مخروط افکنه سرباز پتانسیل جداولی در نواحی میانی را دارد که می‌تواند برای بسیاری از روستاها و مناطقی که در نواحی میانی این مخروط افکنه قرار گرفته‌اند خطرناک باشد. بیشتر جداولی‌هایی که در روش دبی ۱۰۰ ساله شناسایی شده‌اند در روش سرعت تعریف نشده‌اند. ولی حداقل با استفاده از این روش می‌توان نواحی را که ممکن است بر اساس سرعت در آستانه جداولی قرار بگیرند را شناسایی کرد.

##### ۴-۳- نتایج مدل FLO-2D بر اساس طبقه‌بندی ریسک سیلاب

بر اساس طبقه بندی موجود در مدل FLO-2D که در شکل ۴ نشان داده شده است، میزان ریسک سیلاب بر روی قسمت‌های مختلف مخروط افکنه‌های مورد مطالعه طبقه‌بندی گردیده است. نتایج نشان می‌دهد ریسک جداولی بر روی مخروط افکنه سرباز بالا می‌باشد به خصوص در نواحی میانی مخروط افکنه، که یکی از دلایل آن می‌تواند دبی بالای منطقه باشد. در مخروط افکنه فریزی نیز ریسک جداولی در نواحی ابتدایی و میانی زیاد می‌باشد بخصوص در ناحیه شهرک صنعتی چناران این ریسک بالا مشاهده می‌گردد (شکل ۷). بنابراین با استفاده از این روش می‌توان قسمت‌هایی از مخروط افکنه‌ها را که در نواحی با ریسک بالا قرار دارند و احتمال اینکه در معرض جداولی قرار بگیرند را شناسایی کرد.



شکل ۵- جدانشدگی‌های پیش‌بینی شده با استفاده از مدل FLO-2D (A) مخروط افکنه سرباز (B) فریزی



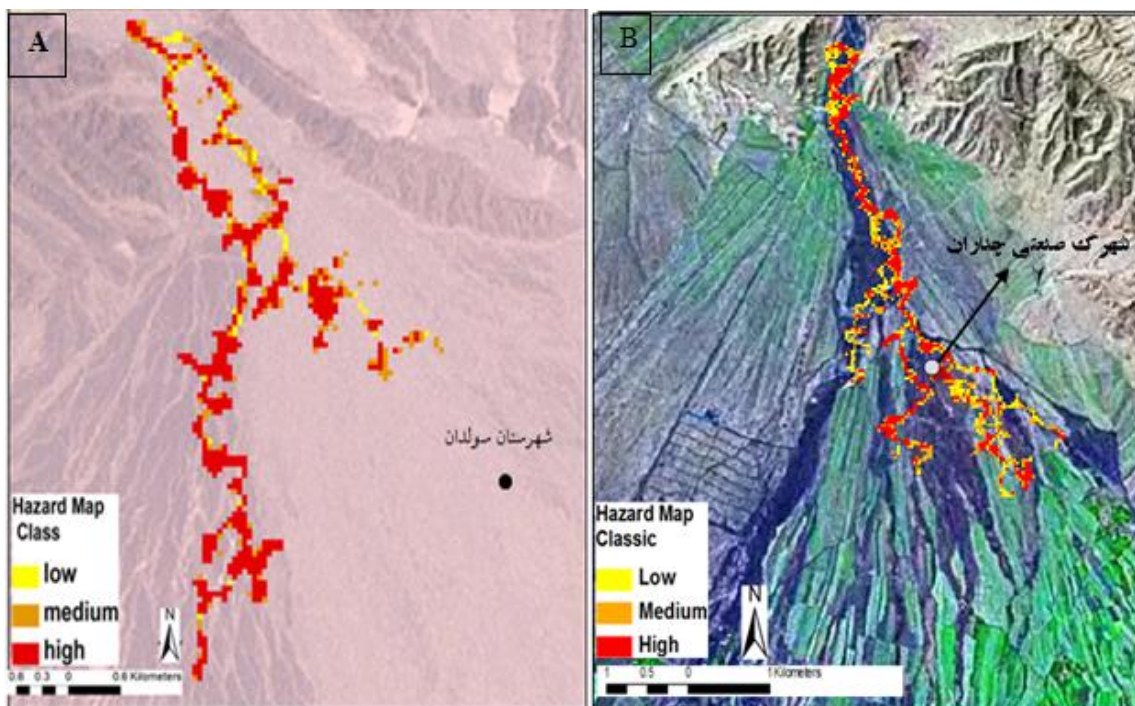
شکل ۶- نتایج مدل FLO-2D بر اساس سرعت (A) مخروط افکنه سرباز (B) مخروط افکنه فریزی

نتایج حاصل از پلات عکس هوایی اخیر از مخروط افکنه‌ها با نتایج مدل FLO-2D نشان می‌دهد که مخروط افکنه‌های سرباز و فریزی دارای پتانسیل جدانشدگی متعددی می‌باشند. همچنین نتایج حاصل از مدل، کانال‌های جریانی را بر روی دو مخروط افکنه نشان می‌دهد که بر روی عکس‌های هوایی مشاهده نمی‌گردد، این کانال‌ها مکان‌هایی هستند که مدل به عنوان جدانشدگی پیش‌بینی کرده است.

### ۵- نتیجه‌گیری

روشی که در این مطالعه بمنظور شناسایی جدانشدگی بر روی این دو مخروط افکنه صورت گرفته، استفاده از مدل دو بعدی FLO-2D است. جدانشدگی بر روی هر کدام از این دو مخروط افکنه با استفاده از نتایج این مدل بر اساس دبی ۱۰۰ و ۵۰۰ سال و همچنین بر اساس سرعت و طبقه بندی ریسک سیلاب مورد بررسی قرار گرفت.





شکل ۷- نتایج مدل FLO-2D بر اساس طبقه بندی ریسک سیلاب (A) مخروط افکنه سرباز (B) فریزی

روی آنها در نظر گرفته نشده در حالی که نتایج این مدل نشان از ریسک بالا روی آنها می‌دهد. بنابراین اگر بتوان این مدل را برای مخروط افکنه‌های دیگر بکار برد می‌توان تا حدودی از ریسک سیلاب کاهش داد و جلوی برخی از خسارات ناشی از آن را گرفت. با توجه به اینکه جاشدگی فرآیندی است که ریسک سیلاب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که تأثیر جاشدگی بر روی مخروط افکنه‌ها به عنوان یک عامل بسیار مهم در ریسک سیلاب‌های مخروط‌افکنه‌ای در مطالعات ریسک سیلاب بر روی مخروط افکنه‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

## ۵- مراجع

- Bryant MP, Falk and Paola C (1995) Experimental study of avulsion frequency and rate of deposition. *Geology* 23(4): 365-368.
- Dawdy DR (1979) Flood frequency estimates on alluvial fan. *Journal of the Hydraulics Engineering* 105(11): 1407-1412.
- FEMA (1990) An alluvial fan flooding computer program. *Users Manual and Program Disk*: Washington, D.C., Federal Emergency Management Agency.
- Field J (2001) Channel avulsion on alluvial fans in southern Arizona. *Geomorphology*

نتایج حاصل از مدل بر روی مخروط افکنه فریزی وجود چند جاشدگی را نشان می‌دهد که یکی از آنها بر روی نقطه خطرناکی (شهرک صنعتی چناران) قرار گرفته است. بنابراین باید اقدامات لازم بمنظور جلوگیری از خسارات احتمالی بر روی این ناحیه صورت گیرد. همچنین نتایج مدل وجود جاشدگی در نواحی میانی مخروط افکنه سرباز را نشان می‌دهد که می‌تواند برای شهرستان سولدان که تقریباً در نواحی پایینی این مخروط‌افکنه قرار گرفته است خطر ساز باشد.

اگرچه هنوز تکنیک ثابتی برای شناسایی و پیش بینی جاشدگی بر روی مخروط‌افکنه‌ها بوجود نیامده است. اما نتایج مطالعاتی که تاکنون صورت گرفته نشان می‌دهد که مدل FLO-2D یک ابزار قوی در مقایسه با مدل‌های دیگر برای تعیین جاشدگی می‌باشد. به طوری که نتایج مطالعات صورت گرفته بر روی مخروط افکنه‌های مرکز آریزونا با استفاده از این مدل نیز نشان دهنده موفقیت آمیز بودن این مدل می‌باشد (Fuller (2012b). استفاده از مدل‌های یک بعدی مانند HEC-1 و مدل‌های دیگر بیانی از احتمال خطر سیل در اراضی اطراف رودخانه را مد نظر قرار می‌دهد و در خود فرض عدم جابجایی رودخانه را مستتر دارند در حالی که این جابجایی کاملاً محتمل است. نتایج نشان داده شده بر اساس مدل FLO-2D بر روی مخروط افکنه سرباز و فریزی ضرورت استفاده از این مدل را برای شناسایی جاشدگی بر روی مخروط افکنه‌های دیگر پیشنهاد می‌کند. زیرا نواحی را نشان می‌دهد که تا کنون احتمال ریسک بالا

- Hook RL (1965) Alluvial fans, Ph.D. Dissertation, California Institute of Technology, Pasadena, California.
- O'Brien JS (2007) FLO-2D flood routing model. Version 2007.06, Copyright 1989, 1993, 2004 FLO-2D Software Inc.
- Pearthree PA, J.E. Klawon and T.W. Lehman (2004) Geomorphology and hydrology of an alluvial fan on Tiger Wash, Maricopa and La Paz Counties, West-central Arizona Geological Survey Open-File Report 04-02,40p.
- Tornqvist TE and J.S. Bridge (2002) Spatial variation of overbank aggradation rate and its influence on avulsion frequency, *Sedimentology*, vol. 49: 891-905. URS, 2012, Rainbow Valley Area Drainage Master Plan, Report to the Flood Control District of Maricopa County.
- FLO-2D (2012) FLO-2D User's Manual. FLO-2D Engineering.
- Fuller JE (2012a) Alluvial fan flood hazard identification and mitigation methods, PFHAM Refinement Study, Final Report.
- Fuller JE (2012b) Evaluation of avulsion potential on active alluvial fans in Central and Western Arizona. Arizona Geological Survey Contributed Report CR-12-D, Tucson, Arizona.
- Fuller JE (2012c) Theoretical and Practical deficiencies in the FEMA fan methodology. Arizona Geological Survey Contributed Report CR-12-B, Tucson, Arizona.
- Hjalmarson HW, S.P. Kemna (1991) Flood hazards of tributary-flow areas in southwestern Arizona: U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report 91-4171, 68 p.