

روشی جدید در استخراج مخروط‌افکنه‌ها از مدل رقومی ارتفاع

ابوالقاسم گورابی* - استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران
مصطفی کریمی - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۲/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۱۲/۰۹

چکیده

شناسایی و استخراج لندفرم‌های سطح زمین از داده‌ها رقومی در سال‌های اخیر، رشد و گسترش بسیار زیادی یافته‌اند. در این راستا مخروط‌افکنه‌ها در مناطق خشک از اهمیت بسیار زیادی برخوردارند. هدف این مطالعه ارائه‌ی روشی بهینه (سریع، دقیق، کم هزینه، و استفاده از حداقل داده‌ی مورد نیاز)، برای استخراج مرز مخروط‌افکنه‌ها از DEM است. بدین منظور با استفاده از DEM و روشی که در این پژوهش برای نخستین بار ارائه شده است (مدل قرینه‌ی DEM)، با قرینه‌سازی داده‌های رقومی ارتفاع و روش‌های موجود در نرم‌افزارهای GIS، مخروط‌افکنه به‌عنوان یک حوضه‌ی آبریز معرفی و سپس مرز آن استخراج شده است. برای ارزیابی دقت این روش، مرز استخراجی روی تصاویر ماهواره‌ای (ASTER, QuickBird)، نقشه‌ی توپوگرافی و شبکه‌هایی زهکشی منطقه همپوشانی شده‌اند. نتایج پژوهش نشان می‌دهند که روش «مدل قرینه‌ی DEM» از نظر دقت نتایج، سادگی، سرعت انجام و بهره‌گیری از حداقل داده‌ها بر روش‌های دیگر برتری دارد.

کلیدواژه‌ها: مخروط‌افکنه، DEM، مدل قرینه DEM، مخروط‌افکنه‌ی مروست.

مقدمه

مخروط‌افکنه‌ها یکی از مهم‌ترین لندفرم‌های کواترنری هستند که از دیدگاه‌های مختلف و از دیرباز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. زمین‌شناسان، ژئومورفولوژیست‌ها، هیدرولوژیست‌ها و پژوهشگران دیگری که به‌نوعی با مطالعات کواترنر در ارتباط هستند، مخروط‌افکنه‌ها را از سه جنبه‌ی (۱) فرایندی، (۲) دینامیکی و مورفولوژیکی و (۳) سکانس‌های رسوبی بررسی کرده‌اند. بیشتر بررسی‌های انجام‌گرفته‌ی پیشین بر تشکیل و گسترش مخروط‌افکنه‌ها در اقلیم خشک تأکید دارند (Dorn, DeNiro and Ajie, 1987)، ولی باید گفت این لندفرم‌ها فقط اختصاص به نواحی خشک نداشته و حتی

ممکن است در نواحی جنب قطبی، نیمه‌مرطوب و حتی نواحی حاره‌ای مرطوب نیز یافت شوند (Kesel and Spicer, 1985).

مخروط‌افکنه‌ها در بیشتر نواحی کره‌ی زمین نقش مهمی در سیستم رسوبی کوهستانی و ژئومورفولوژی دارند. آنها محل ته‌نشست بخش بزرگی از رسوب‌هایی هستند که با اندازه‌های مختلف از حوضه‌های آبخیز خود سرچشمه می‌گیرند. این رسوب‌ها متناسب با حجم و دبی آب و رسوب، عوامل اقلیمی، تغییرات شیب، سطح اساس، و عوامل تکتونیک، می‌توانند در ابعادی کوچک تا بسیار بزرگ به‌وجود آیند. با بررسی مخروط‌افکنه‌ها می‌توان نوع، میزان و روند عملکرد عوامل فوق را طی بازه‌ی زمانی تشکیل و تکامل مخروط‌افکنه آشکار کرد. مخروط‌افکنه‌های نواحی خشک به تغییرات محیطی بسیار حساس هستند، آنها نه تنها به‌عنوان محل انباشت رسوب‌های حاصل از حوضه‌های آبخیز نواحی کوهستانی عمل می‌کنند، بلکه تاریخچه‌ی رسوب‌گذاری و فرایندهای رسوبی را در خود حفظ می‌کنند (Harvey, Wigand, and Wells, 1999). مشاهده‌ی تصاویر و بررسی‌های میدانی نواحی خشک، دلالت بر توالی و تکرار مخروط‌افکنه‌ها و پادگانها دارد. این امر در ناحیه‌ی خشک و نیمه‌خشک ایران مرکزی نمای مشخصی روی تصاویر دارند، تفسیر و تاریخ‌نگاری این توالی و تکرار، کلید درک سرگذشت اقلیمی منطقه را در خود دارد.

موقعیت مکانی و فضایی مخروط‌افکنه‌ها، به‌دلیل خاک حاصلخیز، فراوانی نسبی آب، و اقلیم به‌نسبت متعادل، موجب شده است که آنها کانون‌های تمرکز جمعیت در نواحی خشک شمرده شوند، به‌طوری که در قلمرو ایران مرکزی، عمده‌ی جمعیت روی مخروط‌افکنه‌های پایکوهی استقرار یافته‌اند. البته بررسی مخروط‌افکنه‌ها در پژوهش‌های دیرین لرزه‌ای و ارزیابی ریسک لرزه‌خیزی منطقه‌ای، به‌دلیل ارتباط تنگاتنگ بین تشکیل و تکامل آنها با فعالیت گسل‌های جبهه‌ی کوهستان، نقش مهمی دارند. بر این اساس بررسی مخروط‌افکنه‌های پایکوهی می‌تواند، فقدان داده‌های لرزه‌ای در بازه‌ی زمانی طولانی که در ارزیابی زمین‌لرزه‌ها اهمیت زیادی دارند را تا حدودی جبران کنند (Gourabi and Yamani, 2011). بنابراین با توجه به ماهیت اقلیمی، نوزمین‌ساختی، ژئومورفولوژیکی، خاک‌شناسی، هیدرولوژیکی و... مخروط‌افکنه‌ها که در بالا ذکر شد، این لندفرم‌ها خود کانون بررسی و پژوهش در رشته‌های مختلفی به‌شمار می‌روند. در این راستا، ناگزیر یکی از مهم‌ترین بخش‌های این مطالعات که به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم با آنها ارتباط دارد، تعیین حدود و مرز آنهاست.

روش‌هایی که تاکنون برای استخراج مخروط‌افکنه‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند، برپایه‌ی مشاهده و ترسیم دستی آنها بوده است (Hashimoto et al., 2008). استخراج مخروط‌افکنه‌ها از نقشه‌های توپوگرافی با توجه به تغییر شکل، آرایش، فواصل و روند منحنی‌های تراز، از روش‌هایی پایه و قدیمی در بررسی مخروط‌افکنه‌ها است (Srivastava, Rajak, and Singh, 2009). در این روش‌ها، نخست مرز مخروط‌افکنه‌ها روی نقشه‌های توپوگرافی ترسیم و مقادیر مربوط به ویژگی‌های ژئومورفیک آنها با توجه به مقیاس نقشه محاسبه می‌شود (شایان، ۲۰۰۳). البته در این روش‌ها با گذشت زمان برای مشاهده‌ی دقیق‌تر حدود و چشم‌انداز فضایی مخروط‌افکنه‌ها، به‌طور هم‌زمان از مطالعات استریوسکوپیک کمک گرفته شده‌اند. با پیدایش رایانه و ارائه‌ی نرم‌افزارهای مختلف، مطالعه‌ی لندفرم‌های مختلف از جمله مخروط‌افکنه‌ها نسبت به گذشته بسیار آسان‌تر شد. روش کار در این مرحله با رقومی کردن نقشه‌های توپوگرافی

گونه‌گون در محیط نرم‌افزارهای مختلف و مشاهده‌ی چشمی مرز مخروط‌افکنه‌ها و سپس رقومی کردن آن آغاز شد. در این مرحله به‌طور هم‌زمان نیز از عکس‌های هوایی استفاده می‌شود. پیشرفت نرم‌افزارها، امکان مشاهده‌ی سه‌بُعدی مخروط‌افکنه‌ها و بهره‌بردن از سایر لایه‌های اطلاعاتی، کمک شایانی به تجزیه و تحلیل مخروط‌افکنه‌ها کردند. با توسعه‌ی شیوه‌های عکس‌برداری و به‌ویژه، تصاویر رقومی تهیه‌شده به‌وسیله‌ی هواپیماها، امکان مشاهده‌ی مخروط‌افکنه‌ها در محیط‌های نرم‌افزارها ساده‌تر شد. تفاوت این تصاویر با عکس‌های هوایی، مختصات‌دار بودن آنها بوده که محقق می‌توانست با اندک تصحیحاتی، از آنها در محیط نرم‌افزارهای مختلف استفاده و سپس ویژگی‌های ژئومورفیک مختلف مخروط‌افکنه‌ها را استخراج کند.

شاید بتوان گفت رشد ناگهانی و چشمگیر علوم زمین با ورود ماهواره‌ها و استفاده از سنجنده‌های مختلف، وارد مرحله‌ی جدیدی شد، به‌گونه‌ای که بررسی‌های انجام گرفته با رشدی شتابان، تمام جنبه‌های مختلف علوم زمین را دگرگون کرد. استفاده از تصاویر مختلف ماهواره‌ای در مطالعه‌ی مخروط‌افکنه‌ها نیز شایان توجه هستند. تصاویر برداشت‌شده به‌کمک سنجنده‌های غیرفعال، ابتدا به‌صورت سیاه‌وسفید ثبت می‌شدند، ولی با توسعه‌ی روش‌ها و فناوری، امکان ثبت پدیده‌های زمینی در باندهای مختلف و در نتیجه ترکیب‌های بانندی و ساخت تصاویر رنگی فراهم شد. تصاویر ترکیب بانندی کاذب^۱ شاید جهشی دیگر را در بررسی‌های پدیده‌ها و لندفرم‌های زمینی فراهم کردند. این امکان به‌دلیل توانایی تفکیک، تشخیص و شناسایی ماهیت و ویژگی‌های مختلف هر پدیده، به‌کمک مشاهده و کاربرد تصاویری با ترکیب‌های بانندی مختلف است. ترکیب‌های متفاوت بانندی (تصاویر رنگی مختلف)، امکان تفکیک زمین‌هایی با لیتولوژی، شیب، رطوبت، ساختار زمین‌شناسی، و پوشش گیاهی مختلف را آسان کردند (McEwen et al., 2011). امروزه به‌وسیله‌ی اسپکتروفتومترهای واقع بر سنجنده‌ی ماهواره‌ای مختلف، امکان تهیه‌ی تصاویر در محدوده‌های بانندی SWIR، VNIR و TIR با قدرت تفکیک و طول موج‌های متفاوت از یکدیگر به‌صورت مجزا فراهم شده است (Goorabi, 2009). برخی محققان با استفاده از تصاویر در باندهای غیر مرئی (حرارتی) و با توجه به ماهیت رسوبی مخروط‌افکنه‌ها، توانسته‌اند گستره‌ی مخروط‌افکنه‌ها را تا حدودی مشخص کنند، البته تعیین دقیق مرز توسط این روش، نه‌تنها نیازمند تصحیحاتی بعدی است، بلکه احتیاج به وقت و زمان زیادی نیز دارد (Hardgrove, Moersch, and Whisner, 2009). بررسی منابع نشان می‌دهند که پژوهش‌های اندکی در زمینه‌ی روش‌های استخراج مخروط‌افکنه‌ها وجود دارند. استخراج مخروط‌افکنه‌های ناحیه‌ی دره‌ی مرگ، در جنوب غربی ایالات متحده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و DEM، از جمله بررسی‌هایی است که به‌طور مستقیم در این زمینه انجام گرفته‌اند. در پژوهش انجام‌گرفته در ناحیه‌ی دره‌ی مرگ با استفاده از تصاویر TM و DEM، پس از استخراج شبکه‌ی زهکشی و تعیین نقطه‌ی خروجی حوضه (به‌طور غیر مستقیم رأس مخروط‌افکنه) با توجه به شیب و اختلاف مقادیر طیفی بین رسوب‌های پلایا و مخروط‌افکنه، مرز مخروط‌افکنه‌ها مشخص شده‌اند (Miliarsis, Argialas et al., 2000). در همین ناحیه و با استفاده از تصاویر ASTER و DEM با تحلیل شی‌گرایی تصاویر و انجام پیش‌پردازش، پردازش با روش قطعه‌بندی چند مقیاسه^۲

1. False Color

2. Multiresolution Segmentation Algorithm

و طبقه‌بندی فازی، در نهایت پهنه‌ی مخروط‌افکنه‌ها استخراج شده‌اند (Argialas and Tzotsos, 2004; Argialas and Tzotsos, 2006).

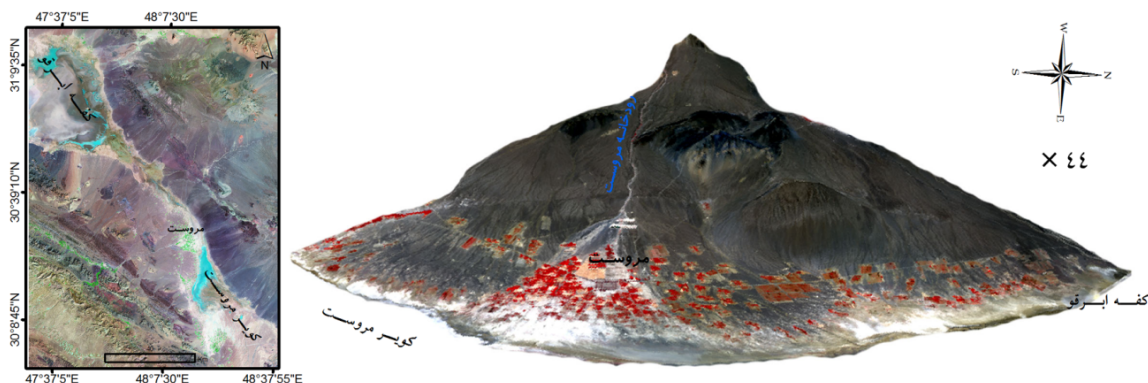
یکی از بهترین امکانات مرتبط با موضوع مورد بحث، امکان مشاهده‌ی استریوسکوپیک عوارض و تهیه‌ی DEM است که می‌توان به تصاویر ماهواره‌ای (ASTER) اشاره کرد. اگرچه داده‌های فوق‌الذکر اهمیت شایانی دارند، ولی پروژه‌ی SRTM، پروژه‌ای مشترک بین ناسا و آژانس اطلاعاتی - فضایی ملی آمریکا با فراهم کردن تصاویر سه‌بعدی با قدرت تفکیک ۹۰ متر در دو باند X و C، طی ۱۱ روز مأموریت خود، زمینه‌ی گسترش بررسی‌های توپوگرافیک در کره‌ی زمین (بین ۶۰ درجه‌ی شمالی و ۵۶ درجه‌ی جنوبی) را فراهم کرد. در حال حاضر داده‌های رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک بالاتر به کمک DEM تهیه شده‌ی سازمان نقشه‌برداری ایران در دسترس است (Goorabi, 2009). تعیین مرز مخروط‌افکنه‌ها از طریق داده‌برداری به کمک GPS نیز از دیگر روش‌های مورد استفاده در برخی از مطالعات انجام‌گرفته بوده است (Haug et al., 2010) که نیازمند صرف وقت بسیار زیاد و همچنین هزینه‌ی بالایی است. در پژوهش‌های انجام‌شده روی مخروط‌افکنه‌ها در ایران که به‌منظور بررسی ویژگی‌های ژئومورفیک (شایان، ۲۰۰۳)، تبیین نقش مخروط‌افکنه‌ها در تکتونیک فعال (مختاری کشکی و خیام، ۲۰۰۳؛ یمانی و مقصودی، ۲۰۰۳) و تحلیل روابط مورفومتریکی بین مخروط و حوضه‌های آبریز (مختاری، ۲۰۰۳) انجام گرفته‌اند، روش استخراج مخروط‌افکنه‌ها به‌صورت دستی و با بهره‌گیری از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های مختلف (بیشتر ۱:۵۰۰۰۰)، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، کاربرد GPS و بررسی‌های مکمل میدانی صورت گرفته است.

با توجه به اینکه استخراج مخروط‌افکنه‌ها از داده‌های پایه، یکی از نیازهای اساسی در پژوهش‌های مرتبط با مطالعات لندفرم‌های کواترنر شمرده می‌شود، در این پژوهش روش جدیدی برای استخراج مخروط‌افکنه‌ها ارائه شده که ضمن دقت بسیار بالا، زمان و هزینه‌ی اندکی را نیز دربردارد. برای آزمون این روش، مخروط‌افکنه‌ی مروست انتخاب شده است که یکی از بزرگترین مخروط‌افکنه‌های ایران مرکزی به‌شمار می‌رود.

مواد و روش‌ها

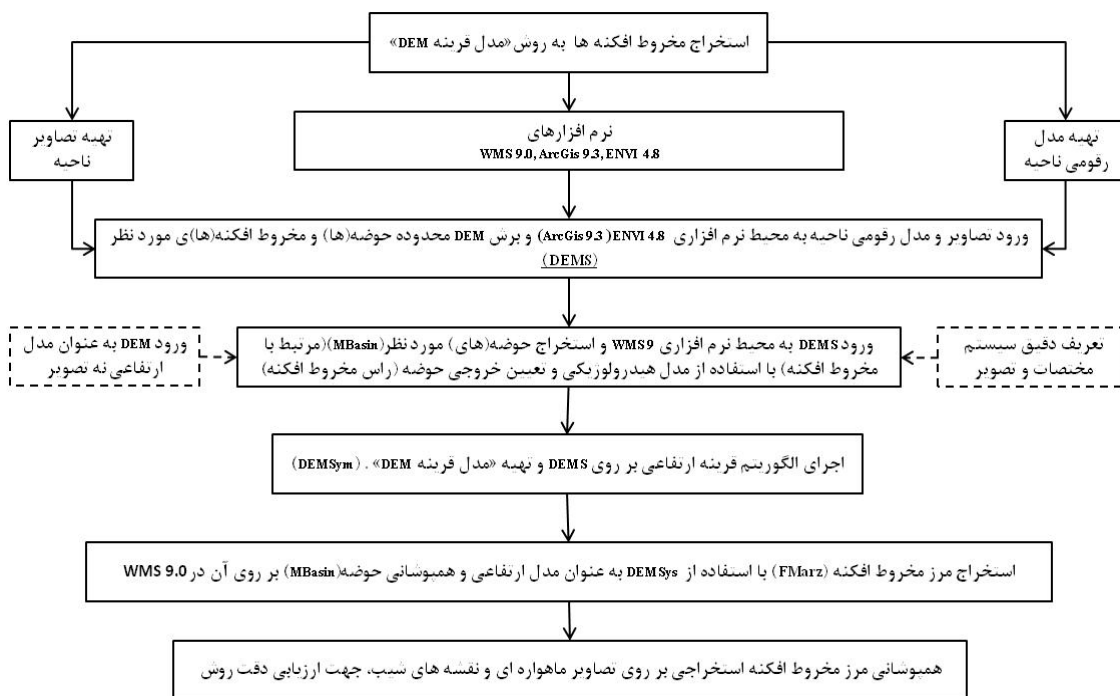
محدوده‌ی مورد مطالعه

مخروط‌افکنه‌ی انتخابی برای ارائه‌ی روش جدید استخراج مخروط‌افکنه، در جنوب استان یزد قرار دارد. شهر مروست با ۱۹۵۰۰ نفر و روستای هرابرجان و آبادی‌های کوچکتر پیرامونی (در مجموع ۱۵۳۰۰ نفر) از سکونتگاه‌های واقع بر مخروط‌افکنه‌ی مروست هستند (سایت مرکز آمار ایران). علاوه‌بر آنها، نزدیک ۷۰ چاه عمیق و نیمه‌عمیق روی مخروط‌افکنه‌ی مروست حفر شده‌اند. میزان زمین‌های زراعی واقع بر مخروط‌افکنه‌ی مروست از روی تصویر Aster (در تاریخ ۲ خرداد ۱۳۸۹) ۱۸۰۰۰ هکتار برآورد شده است (شکل شماره ۱)، بنابراین این مخروط یکی از زیستگاه‌های مهم انسانی و قطب کشاورزی در استان یزد به‌شمار می‌رود.



شکل ۱. مخروط افکنه‌ی مروست (۳D مخروط افکنه‌ی مروست، تصویر منطقه)

تنها داده‌ی مورد نیاز بر اساس روش ارائه شده در این پژوهش، مدل رقومی ارتفاع (DEM) است که در این پژوهش از SRTM90M استفاده شده است. برای تعیین محدوده‌ی مورد مطالعه و نیز ارزیابی دقت نتایج به دست آمده، از تصاویر ماهواره‌ای ASTER و QuickBird نیز بهره گرفته شده‌اند. تمام عملیات‌های مورد نظر در سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام پذیرفته و از نرم افزارهای WMS 9.0، ENVI 4.8 و ArcGis 9.3 استفاده شده‌اند. روش به کار رفته که به نام «مدل قرینه‌ی DEM»^۱ موسوم است در شکل شماره‌ی ۲ به صورت نمودار گسترش داده شده است.

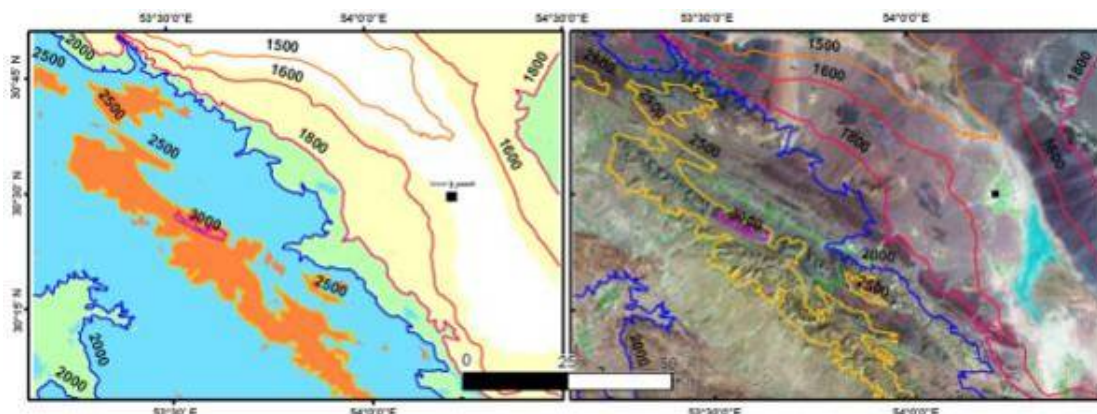


شکل ۲. نمودار استخراج مخروط افکنه از مدل رقومی ارتفاع

روش استخراج مخروط‌افکنه از مدل رقومی ارتفاع مبتنی بر مدل قرینه‌ی DEM به قرار زیر است (شکل شماره‌ی ۲):

۱. ورود مدل رقومی ارتفاع (DEM) ناحیه و تصاویر ماهواره‌ای مربوط به آن (ASTER) به محیط نرم‌افزار ENVI

(ArcGis) و مشاهده و تعیین حدود حوضه و مخروط‌افکنه مورد بررسی (DEMS) (شکل شماره‌ی ۳).



شکل ۳. تصویر ASTER و مدل رقومی (DEMS) ناحیه‌ی مورد بررسی

۲. ورود مدل رقومی محدوده‌ی مورد بررسی (DEMS) به محیط نرم‌افزاری WMS و استخراج حوضه‌ی زهکشی

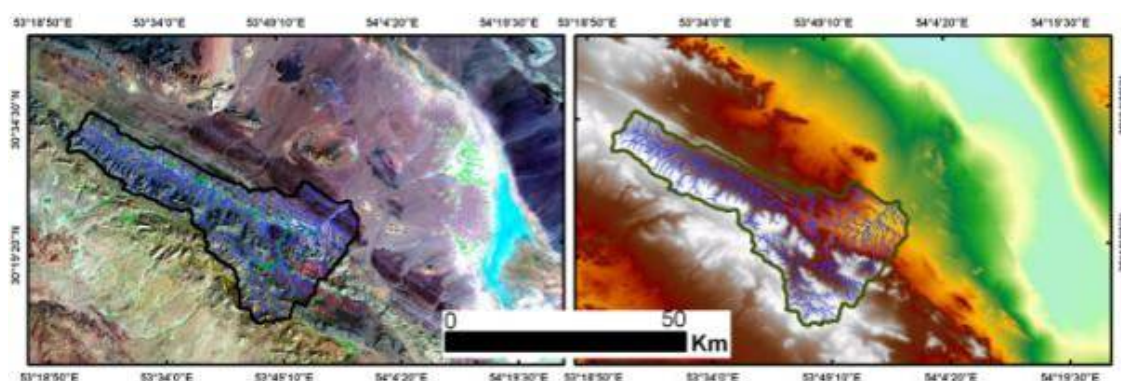
(مروست) مرتبط با مخروط‌افکنه‌ی مروست (MBasin). در این مرحله باید دقت‌های لازم در تنظیم‌های سیستم

مختصات و واحدهای اندازه‌گیری (طول، حجم، و زاویه و...) لحاظ شود. لازم است در محیط نرم‌افزاری WMS، مدل

رقومی به‌عنوان مدل ارتفاعی به سیستم معرفی شود (شکل شماره‌ی ۴). نتیجه‌ی این مرحله، تعیین خروجی حوضه (رأس

مخروط‌افکنه) است که باید به قالب‌های مورد استفاده در ArcGis (SHP) و در صورت نیاز با قالب گوگل ارث (KMZ)

ذخیره شود.

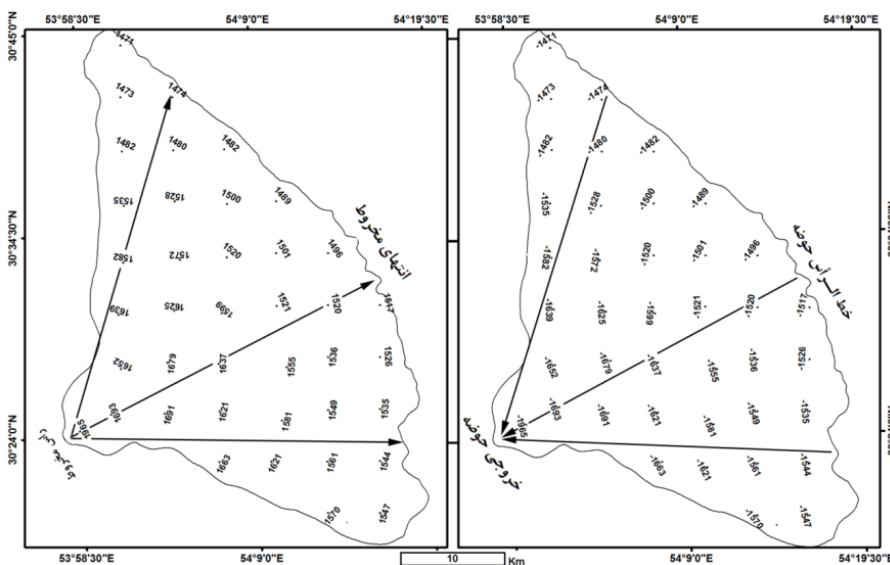


شکل ۴. همپوشانی حوضه‌ی زهکشی مروست (MBasin) روی مدل رقومی (راست) و تصویر ASTER (چپ) ناحیه برای تعیین رأس مخروط‌افکنه

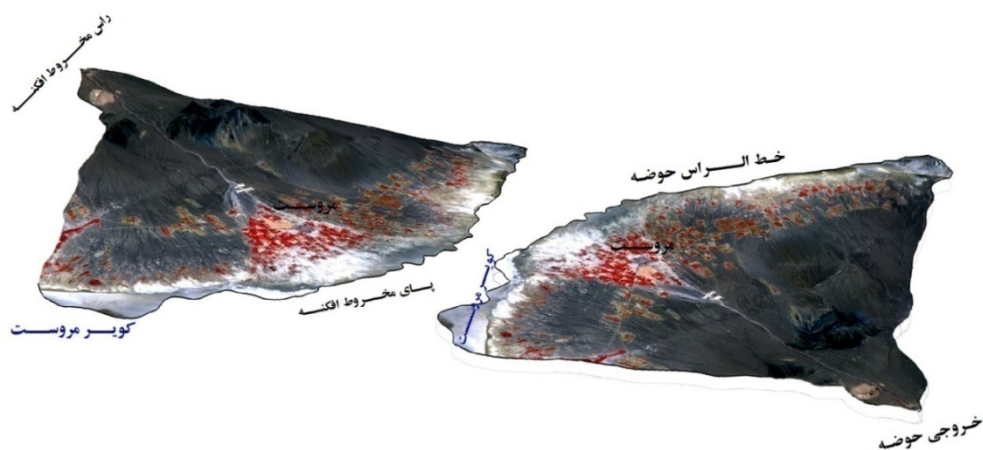
۳. ورود مدل رقومی ارتفاع محدوده‌ی مورد بررسی (DEMS) به محیط نرم‌افزار ArcGIS (ENVI) و اعمال

الگوریتم قرینه‌ی ارتفاعی روی آن و تهیه‌ی مدل قرینه‌ی DEM (DEMSym). در مدل اخیر رأس مخروط‌افکنه به‌مثابه

خروجی حوضه در خواهد آمد (شکل‌های شماره‌ی ۵ و ۶).



شکل ۵. اعمال الگوریتم قرینه‌ی ارتفاعی روی مدل رقومی ارتفاعی مخروط افکنه و تهیه‌ی مدل قرینه‌ی DEM (DEMSym)



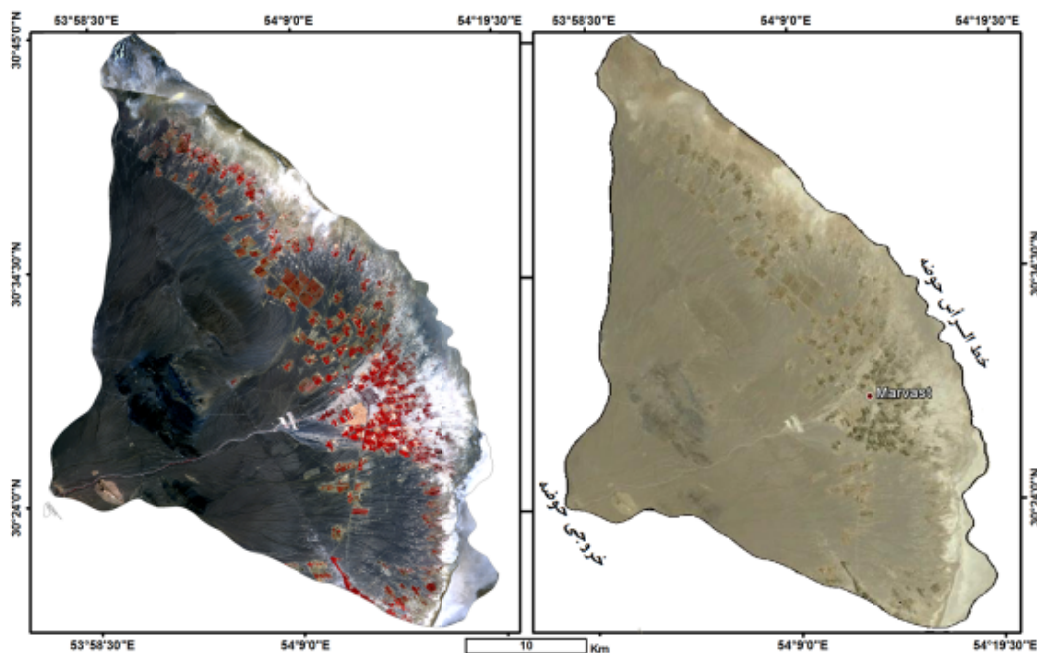
شکل ۶. همپوشانی تصویر ASTEER بر روی «مدل قرینه DEM» (راست) و مدل رقومی ارتفاعی مخروط افکنه (چپ)

فرایند استخراج محدوده‌ی مخروط افکنه، همانند تهیه‌ی حوضه‌ی زهکشی است. در این مرحله خروجی حوضه، به‌عنوان رأس مخروط به سیستم WMS معرفی و سپس مخروط افکنه از مدل قرینه DEM استخراج می‌شود. ۴. در مرحله‌ی پایانی مرز مخروط افکنه را به قالب‌های مورد استفاده در گوگل ارث (KMZ) و ArcGis (SHP)، ذخیره و با همپوشانی آنها روی تصاویر، دقت مرز استخراجی ارزیابی می‌شود. از نقشه‌های شیب، جهت، شبکه‌ی زهکشی و توپوگرافی نیز، می‌توان برای ارزیابی دقت مرز مخروط استفاده کرد.

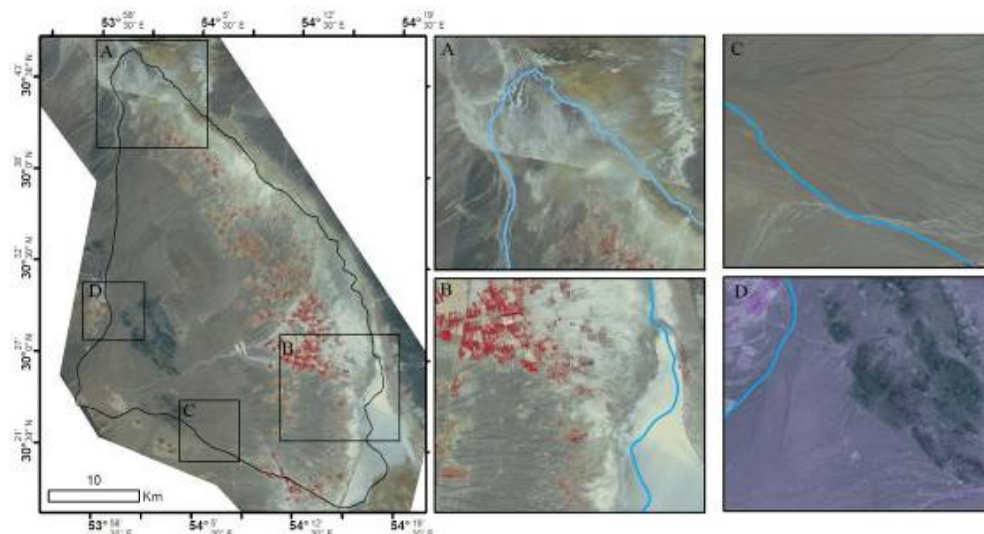
یافته‌های پژوهش

با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) و با اعمال مدل قرینه‌ی DEM روی آن، مرز مخروط افکنه‌ی مروست به‌دست آمده است (شکل شماره‌ی ۷). شکل شماره‌ی ۷ مرز مخروط افکنه‌ی مروست روی تصاویر ASTER (چپ) و Quick

Bird (راست) را نشان می‌دهد. در این شکل دقت مرز استخراجی به‌روش مورد استفاده، به‌طور محسوسی مشاهده می‌شود. به‌طور کلی برای ارزیابی دقت استخراجی به‌روش‌هایی نیمه‌خودکار و خودکار، مرز حاصله از این روش‌ها با مرزهای ترسیم شده‌ی کارشناسان خبره که به‌روش دستی از عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی، و تصاویر ماهواره‌ای به‌دست آمده‌اند، مقایسه شده‌اند (Argialas & Tzotsos, 2004; Argialas & Tzotsos, 2006; Miliaris et al., 2000). در اینجا برای ارزیابی دقیق‌تر مرز استخراجی، از تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های توپوگرافی و شبکه‌ی زهکشی در مقیاسی بزرگتر استفاده شده است، بدین منظور مرز مزبور روی داده‌های فوق همپوشانی شده‌اند.

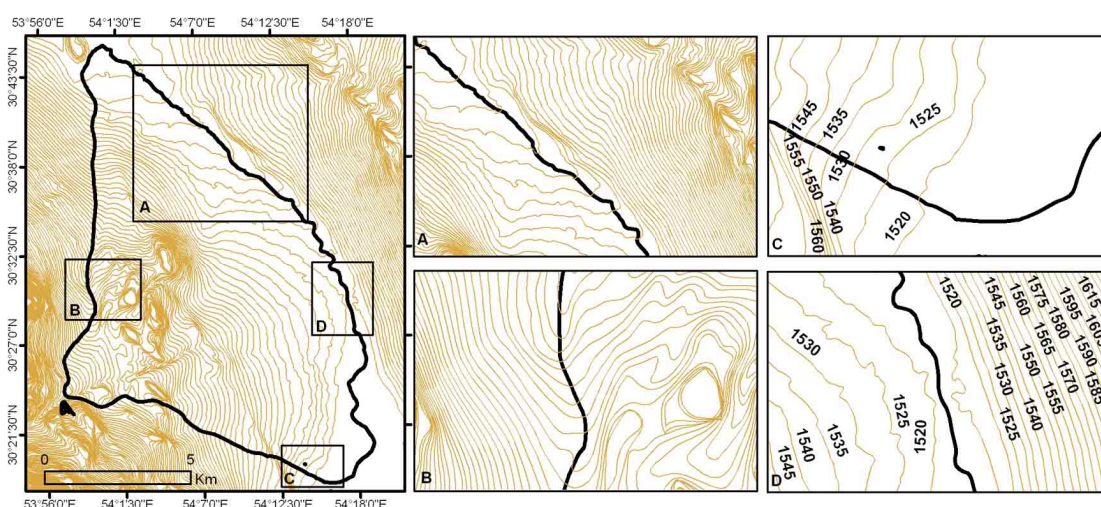


شکل ۷. مرز مخروط‌افکنه‌ی مروست روی تصویر گوگل ارث (راست) و تصویر Aster (چپ)



شکل ۸. ارزیابی مرز استخراجی مخروط‌افکنه به‌روش مدل قرینه‌ی DEM روی تصویر Aster

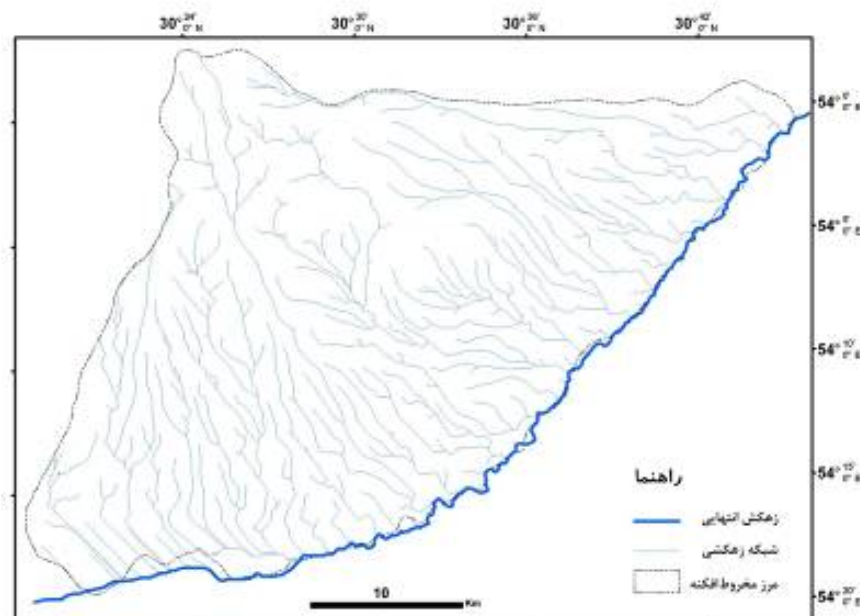
شکل شماره ۸ همپوشانی مرز مخروط‌افکنه روی تصویر ASTER منطقه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌های A، B، C و D مشاهده می‌شوند، مرز مخروط‌افکنه استخراجی (خطوط) به‌طور دقیق بر محدوده‌ی مخروط‌افکنه در سطح زمین انطباق دارد. شکل ۸ (A) مرز مخروط‌افکنه‌ی مروست در بخش شمال غربی را نشان می‌دهد که به کفه‌ی ابرقو منتهی می‌شود. شکل ۸ (B) که مربوط به بخش جنوب شرقی مخروط‌افکنه در پای مخروط و همچنین کویر است، به‌روشنی انطباق مرز استخراجی با سطح زمین را نشان می‌دهد. شکل‌های ۸ (C، D) نیز انطباق مرز استخراج شده به‌روش مدل قرینه DEM در دو طرف مخروط‌افکنه در بخش‌های شمالی و جنوبی را مشخص کرده‌اند که دارای شیب بیشتری هستند.



شکل ۹. ارزیابی مرز استخراجی مخروط‌افکنه به‌روش مدل قرینه‌ی DEM با استفاده از منحنی‌های میزان

یکی از مهم‌ترین داده‌های مورد استفاده برای استخراج عناصر مورفولوژیکی، منحنی‌های میزان است. شکل، آرایش، فواصل و روند منحنی‌های تراز، می‌تواند برای تعیین مرز عناصر مورفولوژیکی، از جمله مخروط‌افکنه‌ها مورد استفاده قرار گیرند. شکل شماره ۹ همپوشانی مرز استخراجی روی خطوط تراز منطقه را نشان می‌دهد. نمای نزدیک تهیه‌شده از مخروط‌افکنه در بخش‌های مختلف (A, B, C, D) بیانگر پیروی مرز مخروط با روند مورفولوژیکی خطوط تراز هستند.

در گذشته کویر مروست توسط یک خشک‌رود به کویر (کفه) ابرقو زهکشی می‌شد. با توسعه‌ی مخروط‌افکنه‌ی مروست در اواخر کواترنری و پیشروی آن به طرف شرق، ارتباط این دو کویر قطع شد (گورابی، ۱۳۸۷). آثار خشک‌رود قدیمی که این دو کویر را به یکدیگر متصل می‌کرد، در حال حاضر زهکش انتهایی مخروط‌افکنه‌ی مروست است. این خشک‌رود در واقع مرز شرقی مخروط‌افکنه‌ی مروست را می‌سازد. شکل شماره ۱۰ به‌وضوح انطباق زهکش انتهایی و مرز استخراجی توسط روش مدل قرینه‌ی DEM را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. ارزیابی مرز استخراجی مخروط افکنه به روش مدل قرینه‌ی DEM با استفاده از شبکه‌های زهکشی بر اساس مدل پیشنهاد شده در این بررسی، مخروط افکنه‌ی مروست با وسعت ۹۵۰ کیلومتر مربع یکی از بزرگترین مخروط افکنه‌های ایران است. نسبت مساحت مخروط افکنه‌ی مروست (۹۵۰ کیلومتر مربع) به مساحت حوضه‌اش (۱۰۲۰ کیلومتر مربع) برابر ۰/۹۳ است. در مخروط افکنه‌ی مروست عامل محدودیت جانبی (مخروط افکنه‌های مجاور) و شعاعی وجود ندارد و زاویه رفت و روب (زاویه‌ی موجود بین دو زهکش منتهی‌الیه طرفین مخروط) مخروط افکنه‌ی مروست بالاست (برابر ۱۰۰ درجه) (جدول شماره ۱).

جدول ۱. مشخصه‌های مورفولوژیکی مخروط افکنه و حوضه‌ی زهکشی مروست

ارتفاع (متر)	میانگین	مسیط (km)	سینوسیته	ضریب شکل	طول (km)	نسبت شمال	نسبت جنوب	متوسط تپیر	مساحت (km ^۲)	
۲۳۵۷		۲۶۰	۱/۲۵	۴	۶۰	۰/۶۰	۰/۴۰	۰/۱۹	۱۰۲۰	حوضه‌ی آبخیز
۱۵۸۵		۱۴۰	۱/۳	۲/۵	۳۳	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۰۲	۹۹۰	مخروط

بحث و نتیجه‌گیری

هدف این مطالعه ارائه‌ی یک روش به نسبت سریع، آسان و کم هزینه با حداقل داده‌ی مورد نیاز (DEM)، برای استخراج مرز مخروط افکنه‌ها در محیط سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی است. نتایج حاصل نشان می‌دهند که مرز استخراج شده به روش مدل قرینه‌ی DEM با شرایط سطح زمین (توپوگرافی) و عناصر مورفولوژیکی مخروط افکنه (شبکه‌ی زهکشی) انطباق کاملی دارد.

روش معرفی شده نسبت به روش دستی ترسیم مخروط افکنه که علاوه بر زمان بر بودن، نتایج آن نیز وابستگی زیادی به مهارت کاربر داشته، مزیت‌های وافری دارد. همچنین این روش نسبت به روش‌هایی که با استفاده از DEM، تصاویر

ماهوره‌ای، پردازش تصویر و روش‌های تحلیل فضایی به استخراج مخروط افکنه‌ها پرداخته‌اند (Harvey, Mather & Stokes, 2005; Argialas and Tzotsos, 2004; Miliareisis et al., 2000)، روشی سریع‌تر، دقیق‌تر و ضمن استفاده از منابع داده کمتر، نتایج بهتری را ارائه می‌دهد.

منابع

- شایان، س. (۱۳۸۲). ویژگی‌های ژئومرفولوژیک مخروط افکنه حوضه گاماسیاب، پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳۵، شماره ۱، صص. ۹۹-۱۱۴.
- گورابی، ا. (۱۳۸۷). تأثیر نوزمین ساخت بر تحول لندفرم‌های کواترنری در ایران مرکزی (مطالعه‌ی موردی: گسل‌های انار و دهشیر، رساله‌ی دکترا، دانشگاه تهران، تهران.
- مختاری کشکی، د.، خیام، م. (۱۳۸۲). ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیکی بر اساس مورفولوژی مخروط افکنه‌ها (مورد نمونه: مخروط افکنه‌های دامنه‌ی شمال میشو داغ)، پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳۵، شماره ۱، صص. ۱۰-۱.
- مختاری کشکی، د. (۱۳۸۲). تحلیل روابط ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها با حوضه‌های آبریز (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ها و مخروط افکنه‌های دامنه‌ی شمالی میشو داغ (آذربایجان، شمال غرب)، تحقیقات جغرافیایی، دوره ۱۸، شماره ۱، صص. ۳۶-۴۶.
- یمانی، م.، مقصودی، م. (۱۳۸۲). نقش تکتونیک و تغییرات اقلیمی در تحول مخروط افکنه‌ها (مطالعه‌ی موردی: مخروط افکنه‌های چاله سیرجان)، بیابان، دوره ۸، شماره ۱، صص. ۱۳۷-۱۵۱.
- Argialas, D. and Tzotsos, A., 2006, **Automatic Extraction of Physiographic Features and Alluvial Fans in Nevada, USA, from Digital Elevation Models and Satellite Imagery Through Multiresolution Segmentation and Object-oriented Classification**, in Proceedings of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) Annual Conference.
- Argialas, D. P. and Tzotsos, A., 2004, **Automatic Extraction of Alluvial Fans from Aster L1 Satellite Data and A Digital Elevation Model Using Object-Oriented Image Analysis**, PP. 12-23 in XXth ISPRS Congress, Retrieved July 31, 2012 (<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/251.pdf>).
- Dorn, R. I., DeNiro, M. J. and Ajje, H. O., 1987, **Isotopic Evidence for Climatic Influence on Alluvial-fan Development in Death Valley, California**, Geology, Vol. 15, No. 2, PP. 108-110.
- Goorabi, A., 2009, **Effect of Neotectonics on Evolution of Quaternary landforms in Central Iran (Case Study on Dehshir and Anar Faults)**, University of Tehran, Iran.
- Gourabi, A. and Yamani, M., 2011, **Active Faulting and Quaternary Landforms Deformation Related to the Nain Fault**, American Journal of Environmental Sciences, Vol. 7, No. 5, PP.441-447.
- Hardgrove, C., Moersch, J. and Whisner, S., 2009, **Thermal Imaging of Alluvial Fans: A new Technique for Remote Classification of Sedimentary Features**, Earth and Planetary Science Letters, Vol. 285, No. 1-2, PP. 124-130.

- Harvey, A., Anne, M., Mather, E. and Stokes, M., 2005. **Alluvial Fans: Geomorphology, Sedimentology, Dynamics – introduction, A Review of Alluvial-fan Research**, Geological Society, London, Special Publications, Vol. 251, No. 1, PP.1-7.
- Harvey, A.M., Wigand, P.E. and Wells, S.G., 1999, **Response of Alluvial Fan Systems to the Late Pleistocene to Holocene Climatic Transition: Contrasts between the Margins of Pluvial Lakes Lahontan and Mojave, Nevada and California, USA**, CATENA, Vol. 36, No. 4, PP.255–281.
- Hashimoto, A. et al., 2008, **GIS Analysis of Depositional Slope Change at Alluvial-fan Toes in Japan and the American Southwest**, Geomorphology, Vol. 100, No. 1–2, PP.120-130.
- Haug, E. W., Kraal, E. R., Sewall, J.O., Dijk, M.V., Diaz, G.C., 2010, **Climatic and Geomorphic Interactions on Alluvial Fans in the Atacama Desert, Chile**, Geomorphology, Vol. 121, No. 3-4, PP. 184-196.
- Kesel, R.H. and Spicer, B.E., 1985, **Geomorphologic Relationships and Ages of Soils on Alluvial Fans in the Rio General Valley, Costa Rica**, CATENA, Vol. 12, No. 1, PP.149-166.
- McEwen, L. J., Owen, G., Matthews, J.A. and Hiemstra, J.F., 2011, **Late Holocene Development of a Norwegian Alpine Alluvial Fan Affected by Proximal Glacier Variations, Episodic Distal Undercutting, and Colluvial Activity**, Geomorphology, Vol. 127, No. 3-4, PP. 198-215.
- Miliareisis, G. C., Argialas, D. P. and Others, 2000, **Extraction and Delineation of Alluvial Fans from Digital Elevation Models and Landsat Thematic Mapper Images**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 66, No. 9, PP.1093–1101.
- Srivastava, P., Rajak, M.K. and Singh, L.P., 2009, **Late Quaternary Alluvial Fans and Paleosols of the Kangra Basin, NW Himalaya: Tectonic and Paleoclimatic Implications**, CATENA, Vol. 76, No. 2, PP.135–154.