

## تحلیل روابط کمی بین حجم مخروط افکنه ها و ارتباط آن با تکتونیک فعال (مطالعه موردی: مخروط افکنه های دامنه شمالی بزقوش)

<sup>۱</sup> معصومه رجیبی

<sup>۲</sup> داود مختاری

<sup>۳</sup> میرابراهیم هاشمیان

### چکیده

مخروط افکنه ها، از بارزترین لندفرم‌های ژئومورفولوژی رودخانه‌ای هستند که به عنوان پدیده‌ای ژئومورفیک، نسبت به تغییرات تکتونیکی واکنش نشان می‌دهند و می‌توان از آنها به عنوان ابزاری، جهت شناخت سیمای تکتونیکی مناطق بهره گرفت. در این پژوهش ابتدا، مخروط افکنه‌ها و حوضه‌های آبریز مربوطه واقع در دامنه شمالی بزقوش از نظر ویژگی مورفومتری (تعداد، مساحت، حجم، نحوه پراکنش) و فیزیوگرافی (طول، مساحت، ارتفاع) استخراج و با بکارگیری شاخص ژئومورفیک ( $\beta$ ، AF، BS، Hi، SL) وضعیت نسبی فعالیت تکتونیکی منطقه ارزیابی گردید. پارامترهای مورد نیاز پژوهش شامل ( $R$ ،  $S$ ،  $H$  و  $\alpha$ ) و دیگر پارامترها از طریق تهیه DEM منطقه و همچنین رقومی کردن نقشه‌های زمین شناسی، گردآوری و جهت انجام محاسبات مربوط به حجم مخروط افکنه‌ها به ترتیب از روش‌های چرچ، گیلز و نرخ بالآمدگی حوضه‌های آبریز از مدل نیروی جریان و نرم افزارهای ArcGIS، CAD و MATLAB استفاده گردید. سپس بین نتایج بدست

۱- استاد ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز

۲- استادیژئومورفولوژی دانشگاه تبریز

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

آمده روابط همبستگی برقرار گردید. نتایج نشان داد؛ رابطه معناداری بین مساحت حوضه آبریز (BA) و حجم مخروط ها (V) وجود ندارد، در مقابل رابطه مستقیم و معناداری با ضریب همبستگی ۰/۷۸. بین نرخ بالآمدگی حوضه‌ها و حجم مخروط افکنه‌ها مشاهده گردید. در این راستا با تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و موقعیت گسل‌های منطقه و همپوشانی آن با محدوده حوضه‌های آبریز و مخروط افکنه‌ها، مشخص گردید که تشکیل مخروط افکنه‌های حجیم (بیچند، اله حق) با وجود دو خط گسلی معکوس و نرمال امتدادلغز راستگرد بالادستی (در خروجی حوضه) همخوانی دارد. برطبق نتایج حاصله، در شرایط مورفوکلیمایی کنونی، می‌توان تکتونیک را عامل اصلی در افزایش یا کاهش حجم مخروط افکنه‌ها محسوب نمود.

**واژگان کلیدی:** حجم مخروط افکنه، شاخص‌های ژئومورفیک، نرخ بالآمدگی، تکتونیک فعال، بزقوش.

## مقدمه

مخروط افکنه‌ها به عنوان لندفرم‌های انباشتی<sup>۱</sup> از اشکال بارز ژئومورفیکی هستند که فعالیت‌های تکتونیک در کنار تغییرات آب و هوایی مهمترین عامل کنترل کننده آنها می‌باشد (Li et al, 1999: 299). فعالیت‌های تکتونیک به عنوان عامل کنترلی اولیه در تعیین ویژگی‌های مخروط افکنه‌ها نظیر: محل، موقعیت قرار گیری و مورفولوژی آنها از طریق متاثر ساختن سیستم‌های زهکشی فعال در حوضه‌های آبریز آنها مورد مطالعه قرار می‌گیرند (تقفی، ۱۳۹۵: ۹۹). حرکات تکتونیک فرآیندهای فعال در سطح مخروط افکنه‌ها و تکامل آنها را تغییر می‌دهد و بر این اساس می‌توان سطوح مخروط افکنه‌ای را به عنوان خطوط همزمان برای بررسی تاریخ و حرکات گسلها و وقوع زلزله‌ها به کار گرفت (Yang & etal, 1985: 10). بنابراین، مورفولوژی آنها به عنوان شاخصی از فعالیت تکتونیک شناخته می‌شود (خیام و مختاری، ۱۳۸۱: ۱)، که ممکن است تحت تاثیر گسل خوردگی، بالآمدگی، راندگی و جابه جایی در طول پیشانی کوهستان مجاور خود قرار گرفته باشد و یا در واکنش به آن روند تحول متفاوتی را تجربه نماید. در این راستا، ایجاد و گسترش فضای رسوبگذاری

در مخروط افکنه‌ها رابطه نزدیکی با نرخ فرارانش (بالا آمدگی) ناحیه منشأ، فرورانش و تغییرات سطح اساس، میزان تغییرات تولید رسوب به علت تغییرات آب و هوایی و ژئومورفومتری حوزه‌های آبریز دارد (Viseras & etal, 2003:182). از این رو، بررسی ویژگی‌های مورفومتری و مورفولوژی مخروط افکنه‌ها و نحوه تحول آنها در طول زمان، کمک شایانی به ترسیم سیمای تکتونیک و میزان تاثیرگذاری آن بر محیط‌های طبیعی می‌نماید.

مخروط افکنه‌ها از منظر پارادایم‌های مختلف ژئومورفیک بررسی و بر اساس نظریات و دیدگاه‌های متعددی مطالعه شده‌اند. در رابطه با پارادایم تکتونیک می‌توان گفت که: گسلش، موقعیت و تقطیع رسوبات مخروط‌ها، حفظ رسوبات مخروط‌های قدیمی تر و شاخص‌های مورفومتریکی را متأثر می‌کند (مقصودی و محمدنژاد، ۱۳۹۲: ۲۱). اگرچه در زمینه ارتباط بین تکتونیک و تحول مخروط افکنه‌ها مطالعات متعددی انجام گرفته (به عنوان نمونه: بول<sup>۱</sup> ۱۹۶۴، ریتز<sup>۲</sup> ۲۰۰۰، مک فادن<sup>۳</sup> ۱۹۷۷، هاروی<sup>۴</sup> ۲۰۱۲، مختاری<sup>۵</sup> ۱۳۸۱، مقصودی ۱۳۸۲، محمدنژاد<sup>۶</sup> ۱۳۹۴، بهرامی<sup>۷</sup> ۲۰۱۵)، اما در زمینه ارتباط بین حجم مخروط افکنه‌ها با تکتونیک فعال، مطالعات معدودی انجام پذیرفته که می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد:

نانینگا و واسون<sup>۵</sup> (۱۹۸۵: ۵۶) به منظور تخمین میزان فرسایش حوضه‌های آبریز، روابط ریاضی جهت محاسبه حجم مخروط افکنه‌ها ارائه نمودند. در این زمینه چرچ<sup>۶</sup> (۱۹۹۷: ۱۰۶) نیز با استفاده از روابط مورفومتری موجود بین اجزاء ساختمان مخروط افکنه‌ها، روشی را جهت محاسبه حجم مخروط افکنه‌های شمال غرب آمریکا به کار برد. بیللیس<sup>۷</sup> (۲۰۰۹: ۱۲۳) حجم مخروط افکنه‌های واقع در سواحل کیل کورا<sup>۸</sup> را با استفاده از مدل رقومی ارتفاع

1 - Bull

2 - Ritter

3 - McFadden

4 - Harvey

5 - Nanninga &amp; Wasson

6 - Church

7 - Baylis

8 - Kailkoura

در محیط نرم افزار ArcGIS محاسبه نمود. گیلز<sup>۱</sup> (۲۰۱۰: ۳۱۹) با توسعه روش چرچ و با بیان اینکه مخروط افکنه پدیده‌ای سه بعدی است، طی یک کار پژوهشی نسبت به محاسبه حجم مخروط افکنه‌های واقع در منطقه وایومینگ<sup>۲</sup> آمریکا اقدام و ارتباط آن را با ویژگیهای مورفومتری حوضه‌های آبریز بالادستی مورد بررسی قرار داد.

خبازی (۱۳۹۱: ۱۰۹) با استفاده از روش گیلز به محاسبه حجم مخروط افکنه‌های حوضه آبخیز کویر دق سرخ در ایران مرکزی پرداخت. بهرامی (۱۳۹۳: ۶۴) نیز با استفاده از روش گیلز به محاسبه حجم مخروط افکنه‌های طاق‌دیس دانه خشک در استان کرمانشاه اقدام نمود و به این نتیجه رسید که بین شیب ساختمانی لایه‌ها و حجم مخروط افکنه‌ها رابطه مستقیم، معنادار و با ضریب همبستگی بالا وجود دارد.

مخروط افکنه‌های مورد مطالعه، در دامنه شمالی رشته کوه بزقوش قرار گرفته اند.

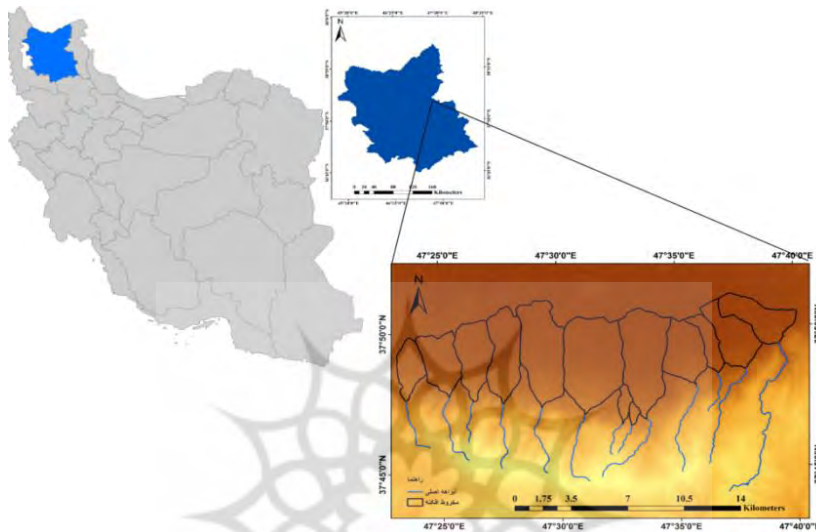
مورفولوژی

آنها متأثر از عملکرد گسلهایی است که بصورت معکوس از حوالی روستای اله حق تا دامن جان و بصورت نرمال امتداد لغز راستگرد از حوالی روستای صومعه به طرف شرق تا اطراف روستای اردها امتداد یافته اند. روند خطوط گسلی مذکور بصورت شرقی- غربی بوده و عملکرد آنها باعث تقطیع، جابجایی فضای رسوبگذاری و حفر راس مخروطها گردیده است. هدف پژوهش حاضر، محاسبه حجم مخروط افکنه‌ها براساس ویژگیهای مورفومتری و نقش تکتونیک در این خصوص از یک سو و در نهایت کشف وجود یا عدم وجود ارتباط معنی دار بین حجم مخروط افکنه‌های مورد مطالعه با میزان فعالیت تکتونیکی منطقه است.

1- Giles

2- Absaroka Range in Wyoming

## منطقه مورد مطالعه



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی مخروط افکنه‌های مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده عرض‌های  $37^{\circ} 44'$  تا  $37^{\circ} 58'$  شمالی و  $47^{\circ} 15'$  تا  $47^{\circ} 54'$  طول شرقی قرار گرفته است. مخروط افکنه‌های مورد مطالعه در دامنه شمالی کوهستان بزقوش در حدفاصل خروجی آبراهه‌ها از کوهستان تا مرکز دشت سراب گسترده شده‌اند. وجود دو سیستم گسلی در دامنه شمالی و جنوبی بزقوش سبب گردیده تا این کوهستان بصورت هورست در امتداد گسلها بالآمدگی داشته باشد. جنس سازندهای زمین شناسی منطقه عمدتاً شامل توده‌های ولکانیکی از نوع آندزیتی و نفوذی متعلق به فاز کوهزایی لارامید واتوسن بوده که به صورت فورانهای گسترده اتوسن ظاهر گردیده است. عملکرد فازهای تکتونیکی متعدد سبب تکتونیزه و ایجاد شکستگی‌های متعددی در سطح حوضه‌های آبریز دامنه شمالی و خروجی حوضه‌ها گردیده که از شواهد آن می‌توان به وجود پرتگاههای گسلی، دره‌های خطی و پیدایش مخروط افکنه‌های چند نسلی اشاره نمود. ستیخ‌ها منطبق بر سنگهای تراکی آندزیت، داسیت و بازالت بوده و رسوبات آبرفتی کواترنر عمدتاً شامل تراسهای آبرفتی قدیم، جدید تر و رسوبات جوان بستر رودخانه‌ها می‌باشد که با

شیب توپوگرافی تند بر سطح مخروط‌های جوان و شیب ملایم بر سطح مخروط افکنه‌ها قدیمی گسترده شده‌اند.

### مواد و روش‌ها

به منظور محاسبه حجم مخروط افکنه‌های مورد مطالعه و شناسایی ارتباط آن با ویژگی‌های تکتونیکی حوضه‌های آبریز بالادستی، در گام نخست کلیه منابع اعم از کتب و مقالات تحقیقی مرتبط با موضوع جمع‌آوری گردید. سپس روش مورد نیاز جهت محاسبات مربوط به حجم و مورفومتری مخروط افکنه‌ها یعنی روش جرج و گیلز از منابع و مقالات مذکور اقتباس گردید. در ادامه، با استفاده از تصاویر Google Earth و رعایت مبانی نظری کار، حدود مخروط افکنه‌های مورد مطالعه تعیین گردید. جهت اطمینان بیشتر از میزان دقت کار، محدوده مخروط افکنه‌های استخراج شده، با روش تعیین محدوده مخروط افکنه‌ها یا مدل قرینه ای DEM (گورابی و کریمی، ۱۳۹۱: ۹۳) از طریق تهیه مدل رقومی ارتفاع از تصاویر ماهواره‌ای Aster منطقه، تطبیق داده شد. سپس نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه جهت استخراج ویژگی‌های لیتولوژی، جنس سازند و لایه گسل‌ها در محیط Arc Map رقومی گردیدند. کلیه محاسبات مربوط به زاویه جاروب (S) و شعاع مخروط افکنه (R) از طریق تهیه DEM منطقه و وارد نمودن اطلاعات مورد نظر به محیط نرم افزارهای ArcGIS 10.3، CAD و MATLAB انجام شد.

### حجم مخروط افکنه

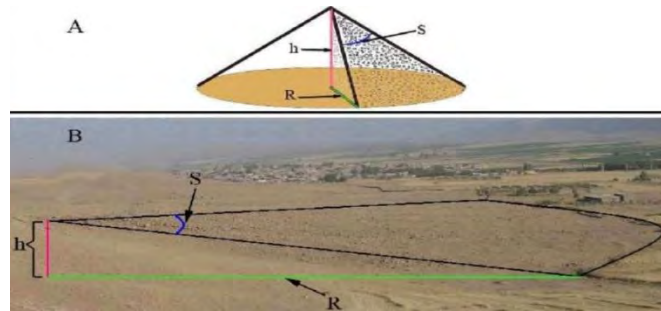
جهت محاسبه حجم مخروط افکنه از رابطه زیر استفاده می‌شود (Giles, 2010: 321):

$$V = \left[ \frac{\pi \times R^2 \times h}{3} \right] \times \left[ \frac{S}{360} \right] \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن:

V: حجم مخروط افکنه به مترمکعب، R: شعاع مخروط به متر، S: زاویه جاروب به درجه

h: اختلاف ارتفاع بین راس و قاعده مخروط به متر و  $\pi$ : عدد ۳/۱۴



شکل ۲. نحوه محاسبه حجم مخروط افکنه (بهرامی، ۱۳۹۳: ۶۳)

جهت برآورد نرخ بالآمدگی منطقه از مدل نیروی جریان و ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی از شاخص‌های ژئومورفیک زیر استفاده گردید:

#### شاخص تقارن مخروط افکنه<sup>۱</sup>

مقدار کج شدگی (عدم تقارن) مخروط افکنه از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\beta = \arccos \left( \left( \frac{b}{a} \right)^2 \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \right)^{.5} \quad (\text{Pinter \& Keller, 2002: 140})$$

رابطه (۲)

در این رابطه،  $b$  = طول قطر محور کوچک بیضی،  $a$  = طول قطر محور کوچک بیضی و  $\alpha$  = شیب مخروط در طول محور کوتاه بیضی است.

شاخص نسبت شکل حوضه<sup>۱</sup>

حوضه‌های آبریز فعال تکتونیکی شکل کشیده‌ای دارند. شکل حوضه در طول زمان و با توقف میزان بالآمدگی به تدریج دایره‌ای شکل می‌شود (Anderson, 2001: 203 Burbank). این شاخص از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد (Hamdouni & etal, 2008: 161):

$$BS = \frac{BL}{BW} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن:

BS = شاخص شکل حوضه

BL = اندازه طول حوضه از انتهای ترین خط تقسیم آب تا خروجی حوضه

BW = پهنای حوضه در پهن ترین قسمت حوضه است

حوضه‌های با مقادیر شاخص کمتر از ۳ نشان دهنده شکل دایره‌ای حوضه بوده و بیانگر فعالیت

بسیار کم نیروهای زمین ساختی است. با افزایش فعالیت‌های زمین ساختی مقادیر شاخص BS نیز افزایش پیدا می‌کند، بطوری که حوضه‌های با مقادیر شاخص BS بیشتر از ۴ در کلاس ۱ (فعال تکتونیکی) قرار می‌گیرند (Hamdouni & etal, 2008: 168)

شاخص عدم تقارن حوضه<sup>۲</sup>

شاخص عدم تقارن برای نمایش کج‌شدگی تکتونیکی حوضه‌های آبریز بکار می‌رود. این کج‌شدگی ممکن است با فعالیت گسلی نرمال که موازی با جهت رودخانه اصلی است در ارتباط باشد (Perez Pena & etal, 2010: 78). شاخص عدم تقارن حوضه به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

1- BS

2- AF



$$AF = 50 - \left( \frac{Ar}{At} \times 100 \right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن: AF = شاخص عدم تقارن حوضه، Ar = مساحت حوضه در سمت راست  
آبراهه اصلی (کیلومتر مربع) و At = مساحت کل حوضه (کیلومتر مربع)

اگر  $15 < Af - 50 < 7$  باشد، منطقه از نظر تکتونیکی فعال، چنانچه  $15 < Af - 50 < 7$  باشد  
فعالیت تکتونیکی متوسط و در غیر این صورت فعالیت زمین ساختی ضعیف خواهد بود.

### انتگرال هیپسومتری<sup>۱</sup>

منحنی‌های هیپسومتری توزیع سطوح ارتفاعی یک منطقه معین یا یک حوضه آبخیز را  
ارزیابی و توصیف می‌کنند (علیزاده، ۱۳۸۰: ۴۸۷). انتگرال هیپسومتری بصورت زیر محاسبه  
می‌گردد: (Hamdouni & etal, 2008: 158)

$$Hi = \frac{(AverageElevation - MinElev)}{(MaxElev - MinElev)} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

که در آن:

Hi = انتگرال هیپسومتری، Average Elevation = ارتفاع متوسط حوضه (متر)،

MinElev = حداقل ارتفاع حوضه (متر) و Max Elev = حداکثر ارتفاع حوضه (متر) می-

باشد.

### شاخص SL

شاخص شیب طولی رودخانه به تغییرات شیب آبراهه حساس است و هرگونه بی نظمی  
را که در

1 - Hi

اثر فعالیت‌های تکتونیکی یا مقاومت سنگ در شیب طولی آبراهه ایجاد شده است، نشان می‌دهد (کرمی، ۱۳۸۸:۷۰) این شاخص به صورت زیر تعریف می‌گردد (Keller, 2002:126):

$$SL = (\Delta H / \Delta L)L \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن  $SL =$  شاخص شیب طولی رودخانه،  $\Delta H / \Delta L =$  شیب آبراهه یا گرادیا نیک قطعه

$\Delta H =$  اختلاف ارتفاع قطعه موردنظر (متر)،  $\Delta L =$  طول آبراهه قطعه موردنظر (متر) و  $L =$  مجموع طول مجرای رودان نقطه میانی قطعه موردنظر تا مرتفع‌ترین نقطه مجرا (متر)

#### مدل نیروی جریان<sup>۱</sup>

شرایط ساختمانی و لیتولوژیکی هر حوضه آبریز، تعادل پویایی را برای آن حوضه ایجاد می‌کند که این شرایط، آبراهه‌های موجود را به ایجاد تعادل جدید سوق می‌دهد. از نظر ریاضی این تعادل به صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد (Shahzad & etal, 2009:17):

$$\frac{dz}{dt} = U - E = U - KA^m S^n \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن  $U$  و  $E$  به ترتیب نرخ‌های بال‌آمدگی و فرسایش هستند. عامل  $K$  به مقاومت سنگ بستگی دارد و ضریب تأثیر فرسایش است.  $A$  مساحت بالادست آبراهه و  $S$  شیب مجراست. مقادیر  $m$  و  $n$  به فرآیندهای فرسایشی، هندسه و هیدرولیک حوضه بستگی دارد. این معادله برای حوضه‌ای که در شرایط پایدار است برابر صفر می‌باشد. پس برای شرایط پایدار می‌توان معادله را به این شکل خلاصه کرد:

$$S = K_s A^{-\theta} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آن  $\theta$  و  $K_s$  شاخص‌های تقعر و شیب هستند. این مقادیر از تحلیل رگرسیونی داده‌ها حاصل می‌گردند (Wobus & etal, 2006: 67). با تلفیق روابط ۶ و ۷ می‌توان نرخ بالآمدگی حوضه‌ها را با رابطه (۸) محاسبه کرد که در آن شاخص نرمال شده شیب است (Shahzad & etal, 2009: 18).

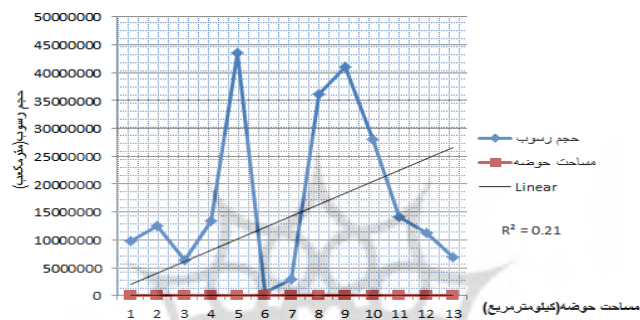
$$U = k_{sn}^n K \quad \text{رابطه (۸)}$$

## یافته‌ها و بحث

### برآورد حجم مخروط افکنه‌ها

محاسبه حجم مخروط افکنه‌ها از آن حیث که میزان رسوبات نهشته گذاری شده در آنها ، میزان برداشت مصالح از حوضه‌های آبریز در طی دوره‌های مختلف زمین شناسی بویژه دوره کواترنری ناشی از تغییر اقلیم، فعالیت‌های تکتونیکی و یا تغییرات سطح اساس را روشن می‌سازد، حائز اهمیت می‌باشد. در این صورت با داشتن عمق رسوبات و مساحت مخروط افکنه و از طریق روابط مثلثاتی می‌توان حجم مخروط را محاسبه نمود. در اغلب موارد دسترسی به اطلاعات مربوط به عمق رسوبات میسر نیست. با این وجود از طریق روابط موجود بین ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه نظیر شعاع مخروط افکنه، زاویه جاروب و اختلاف ارتفاع بین راس و قاعده مخروط افکنه ، محاسبه حجم مخروط ساده میسر است. در این راستا با عنایت به اینکه اغلب مخروط افکنه‌های موجود در طبیعت از نوع ساختمان مرکب باشیب مقعر یا محدب متوالی می‌باشند، لازم است محاسبات حجم مربوط به هر بخش ساختمان مخروط افکنه‌ها بصورت جداگانه انجام گیرد (مقصودی و محمدنژاد، ۱۳۹۲: ۱۲۸). پس از استخراج محدوده حوضه‌های آبریز و مخروط افکنه‌های واقع در خروجی حوضه نسبت به محاسبات حجم مخروط‌ها (جدول شماره ۱) و بررسی رابطه همبستگی بین حجم مخروط‌ها و مساحت حوضه اقدام گردید (شکل ۳). با دقت در نتایج می‌توان دریافت که کمترین میزان حجم مربوط به مخروط افکنه سیلو به میزان

۶۷۲۳۵۹۵۷/۸ مترمکعب و بیشترین میزان حجم رسوب به ترتیب مربوط به مخروط افکنه- های بیچند، اله حق، برکاب و اسب فروشان می‌باشد. بر مبنای نتایج حاصله (شکل ۳) رابطه معنا داری بین مساحت حوضه بالادست مخروط افکنه‌ها (BA) و حجم مخروط افکنه‌ها (V) وجود ندارد. بطوریکه ضریب همبستگی بین دو عامل مذکور حدود ۰/۲۱ است.



شکل (۳): رابطه خطی بین مساحت حوضه آبریز (BA) و حجم مخروط افکنه‌های (V) مورد مطالعه

جدول (۱): شاخص‌های کمی محاسبه حجم مخروط افکنه‌های دامنه شمالی بزقوش

مخروط افکنه	مساحت (Km <sup>2</sup> )	زاویه جاروب	شعاع	ارتفاع مطلق	ارتفاع حداقل	اختلاف ارتفاع	حجم مخروط افکنه
اردها	۸/۲	۱۳۶	۴۴۷۲	۱۸۱۰	۱۶۸۵	۱۲۵	۹۸۸۲۵۴۹۱۰/۵
شالقون	۸/۳	۱۰۷	۴۸۷۰	۱۸۴۰	۱۶۷۰	۱۷۰	۱۲۵۴۱۹۲۰۴۶/۲
چخورچای	۳/۶	۹۲	۳۹۹۷	۱۸۲۰	۱۶۷۰	۱۵۰	۶۴۰۸۵۳۶۲۷
ایدریشان	۸/۵	۹۴	۴۵۲۹	۱۹۱۰	۱۶۷۰	۲۴۰	۱۳۴۵۳۳۷۱۹۱/۳
بیچند	۱۶	۹۰	۷۳۳۰	۱۹۸۰	۱۶۷۰	۳۱۰	۴۳۵۸۳۰۹۲۷۱/۷
سیلو	۰/۷	۵۰	۱۵۶۹	۲۰۳۸	۱۸۵۰	۱۸۸	۶۷۲۳۵۹۵۷/۸
صومعه	۱/۴	۵۶	۲۶۴۵	۲۰۳۸	۱۷۷۵	۲۶۳	۲۹۹۴۶۴۸۷۳/۴
برکاب	۱۹/۲	۸۷	۶۴۸۳	۲۰۲۰	۱۶۸۰	۳۴۰	۳۶۱۳۵۶۸۴۳۱/۷
اله حق	۱۵	۹۱	۶۹۶۸	۲۰۰۰	۱۶۸۰	۳۲۰	۴۱۰۹۴۱۴۰۱۳/۶
اسب فروشان	۱۰/۲	۷۸	۶۴۲۷	۱۹۹۰	۱۶۹۰	۳۰۰	۲۸۰۹۳۴۲۵۷۰/۵
جقر	۸/۷	۶۱	۵۲۵۲	۲۰۰۰	۱۷۱۰	۲۹۰	۱۴۱۸۳۰۳۶۸۷/۶
مبرقه	۷/۶	۸۴	۴۳۸۵	۱۹۸۰	۱۷۴۰	۲۴۰	۱۱۲۶۸۶۹۳۵۷
دامن جان	۴/۷	۵۲	۴۲۶۵	۲۰۲۰	۱۷۷۰	۲۵۰	۶۸۷۳۱۱۵۸۸/۲

## ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی

### شاخص تقارن مخروط افکنه

مقدار ضریب  $\beta$  برای مخروط افکنه‌های مورد مطالعه محاسبه گردید. انطباق منحنی‌های میزان با سطوح بیضوی نشانگر تاثیر پذیری مخروط افکنه‌ها از فعالیت‌های تکتونیکی و گسترش آنها تا مسافت قابل توجهی از جبهه کوهستان است. (جدول ۲) در مناطقی که تحت تاثیر فعالیت‌های زمین ساختی بیشتری قرار گرفته باشند، مقدار خمیدگی یا کج شدگی مخروط‌ها بیشتر بوده و مقدار ضریب  $\beta$  به عدد صفر نزدیک خواهد بود. نتایج حاکی از تاثیر پذیری بیشتر مخروط افکنه‌های برکاب، بیجند، شالقون و اردها از فعالیت‌های تکتونیکی و عدم تقارن مورفولوژی آنها می‌باشد.

جدول (۲): نتایج مربوط به محاسبه شاخص  $\beta$

$\beta$	تطبیق یا عدم تطبیق	شکل	مخروط افکنه	$\beta$	تطبیق یا عدم تطبیق	شکل	مخروط افکنه
.۲۵	تطبیق	بیضی	برکاب	.۳۷	تطبیق	بیضی	اردها
.۴۲	تطبیق	بیضی	اله حق	.۳۲	تطبیق	بیضی	شالقون
.۵۲	تطبیق	بیضی	اسب فروشان	.۶۱	تطبیق	بیضی	چخورچای
.۴۹	تطبیق	بیضی	جقر	.۳۶	تطبیق	بیضی	ایدريشان
.۴۳	تطبیق	بیضی	مبرقه	.۳۲	تطبیق	بیضی	بیجند
.۶۵	تطبیق	بیضی	دامنجان	.۸۶	تطبیق	بیضی	سیلو
				.۹۳	تطبیق	بیضی	صومعه

### شاخص عدم تقارن حوضه

براساس این شاخص، اگر رودخانه به سمت شمال جریان داشته باشد و حرکت تکتونیکی به طرف غرب صورت گیرد، انشعابات طرف شرق رودخانه اصلی در مقایسه با طرف غربی طولانی‌تر خواهد بود. در صورتی که تمایل رودخانه در جهت مخالف باشد، آبراهه‌های کشیده‌تر در طرف چپ رودخانه اصلی جریان پیدا می‌کنند. مقدار شاخص مذکور برای ارزیابی میزان فعالیت تکتونیکی منطقه محاسبه گردیده است (جدول ۳).

### شاخص نسبت شکل حوضه

حوضه‌های آبریز فعال تکتونیکی شکل کشیده‌ای دارند. شکل حوضه در طول زمان و با توقف میزان بالآمدگی به تدریج دایره‌ای شکل می‌شود (Burbank, 2001: 203 & Anderson). مقادیر شاخص BS برای حوضه‌های مورد مطالعه محاسبه و در جدول (۳) آمده است. بر اساس نتایج فوق حوضه آبریز چخورچای از نظر تکتونیکی فعال و حوضه‌های اردها و ایدریشان، در کلاس فعالیت ۲ (نیمه فعال) قرار می‌گیرند.

### انتگرال هیپسومتری

مقادیر انتگرال هیپسومتری، توزیع منطقه‌ای ارتفاع ناهمواری و مراحل تحول حوضه زهکشی چشم‌اندازها را در چرخه فرسایشی بیان می‌کند و شاخصی است که به مساحت حوضه وابسته بوده و بصورت مساحت زیر منحنی تعریف می‌شود (Perez Pena & etal, 2010: 83). بطوری که مقدار انتگرال بزرگتر از ۰/۵ با منحنی محدب به توپوگرافی جوان چشم‌انداز (بصورت زمین‌های مرتفع با دره‌های عمیق) اشاره دارد. مقدار متوسط انتگرال ۰/۴ - ۰/۵ و شکل سیگموئید و پیچ و خم‌دار منحنی، مرحله بلوغ ناهمواری‌ها را نشان می‌دهد و در نهایت مقدار کم این شاخص (کوچکتر از ۰/۴) با منحنی مقعر مرحله پیری حوضه‌های زهکشی را نمایش می‌دهد (گورابی، ۱۳۸۶: ۱۸۱). برطبق نتایج حاصل از محاسبات شاخص Hi در منطقه مورد مطالعه، حوضه‌های آبریز اردها، شالقون، بیجند، صومعه، برکاب، اله حق و اسب فروشان از نظر فعالیت تکتونیکی، فعال می‌باشند (جدول ۳).

### شاخص SL

مقادیر شاخص SL برای حوضه‌های آبریز مورد مطالعه محاسبه گردید (جدول ۳). بر مبنای این محاسبات بیشترین میزان فعالیت‌های تکتونیکی به ترتیب در حوضه‌های آبریز اردها، بیجند، برکاب و مبرقه مشاهده می‌شود. این مسئله با شواهد مورفوتکتونیکی منطقه از طریق تطبیق نقشه حوضه‌های آبریز با موقعیت گسل‌ها، وجود دوگسل معکوس و عادی را در خروجی حوضه‌های مذکور نمایان می‌سازد (شکل ۵). پس از انجام محاسبات مربوط به

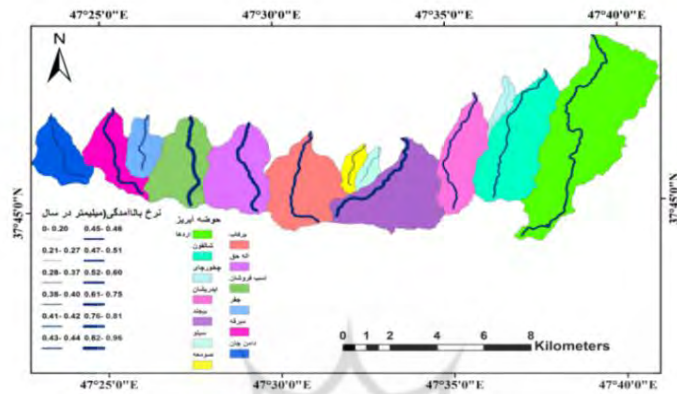
شاخص های ژئومورفیک با استفاده شاخص فعالیت نسبی تکتونیک (Iat) نسبت به ارزیابی نسبی فعالیت های تکتونیکی حوضه های آبریز گردید (جدول ۳).

### نرخ بالآمدگی

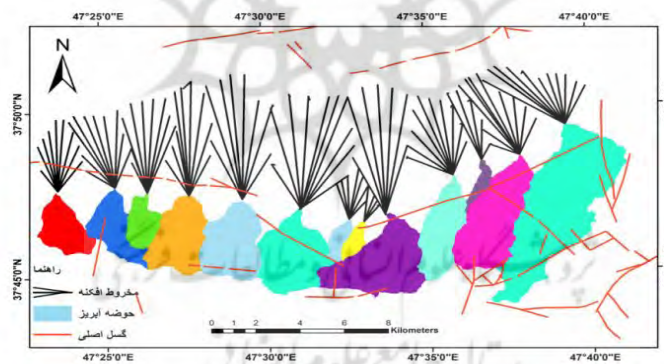
با عنایت به روابط ۶ الی ۸ مدل نیروی جریان و انجام محاسبات با استفاده از DEM منطقه در محیط نرم افزار ArcGIS و MATLAB، نرخ بالآمدگی حوضه های مورد مطالعه محاسبه گردید (شکل ۳). بیشترین نرخ بالآمدگی تکتونیکی به میزان ۰/۷۶ تا ۰/۹۶ میلیمتر در سال متعلق به راس مخروط افکنه های اله حق - اسب فروشان و سپس مخروط افکنه های برکاب تا بیچند (۰/۵۲ تا ۰/۷۵ میلیمتر در سال) می باشد که به ترتیب ناشی از عملکرد گس لهای معکوس و نرمال امتداد لغز راستگرد واقع در بالادست مخروط افکنه های یاد شده است. تطبیق نتایج جدول ۲ (حجم مخروط افکنه ها) با شکل ۵ (موقعیت گسلها) و همچنین نتایج حاصل از ضریب همبستگی بین نرخ بالآمدگی حوضه های آبریز و حجم مخروط افکنه ها و تحلیل داده ها با نرم افزار SPSS نشان دهنده وجود رابطه مستقیم و معناداری بین نرخ بالآمدگی تکتونیکی حوضه ها با میزان گسترش حجم مخروط افکنه های مورد مطالعه است، به طوری که ضریب همبستگی بین دو مولفه مذکور ۷۸ درصد می باشد (شکل ۶).

جدول (۳): نتایج مربوط به ارزیابی نسبی فعالیت های تکتونیکی منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز	AF	BS	HI	SL	Iat	طبقه فعالیت تکتونیکی
اردها	۲	۲	۱	۱	۱/۵	فعالیت زمین ساختی شدید
شالقون	۱	۳	۱	۲	۱/۷	فعالیت زمین ساختی زیاد
چخورچای	۲	۱	۳	۳	۲/۲	فعالیت زمین ساختی متوسط
ایدربشان	۱	۲	۲	۲	۱/۷	فعالیت زمین ساختی زیاد
بیچند	۲	۳	۱	۱	۱/۷	فعالیت زمین ساختی زیاد
سیلو	۳	۳	۲	۳	۲/۸	فعالیت زمین ساختی ضعیف
صومعه	۳	۳	۱	۲	۲/۲	فعالیت زمین ساختی متوسط
برکاب	۱	۳	۱	۱	۱/۵	فعالیت زمین ساختی شدید
اله حق	۱	۳	۱	۲	۱/۷	فعالیت زمین ساختی زیاد
اسب فروشان	۱	۳	۱	۱	۱/۵	فعالیت زمین ساختی شدید
چقر	۲	۳	۲	۳	۲/۵	فعالیت زمین ساختی متوسط
میرقه	۲	۳	۲	۱	۲	فعالیت زمین ساختی متوسط
دامن جان	۳	۳	۲	۳	۲/۷	فعالیت زمین ساختی ضعیف

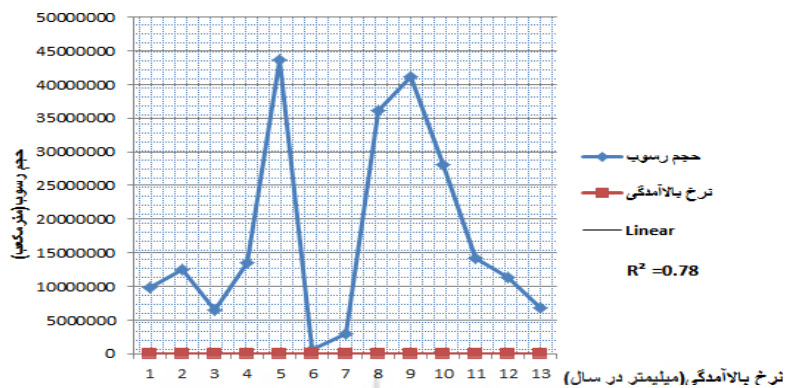


شکل (۴): نقشه نرخ بالا آمدگی حوزه‌های آبریز دامنه شمالی بزقوش



شکل (۵): نقشه موقعیت گسل‌ها و حوزه‌های آبریز بالادست مخروط افکنه‌های مورد مطالعه





شکل (۶): ضریب همبستگی بین حجم مخروط افکنه‌ها و نرخ بالآمدگی حوضه‌های مربوطه

### نتیجه گیری

حجم مخروط افکنه‌ها به عوامل متعددی همچون سنگ شناسی، تغییر اقلیم و تغییر سطح اساس حوضه‌های آبریز بستگی دارد. مخروط افکنه‌ها از بارزترین اشکال ژئومورفولوژیکی هستند که به تغییرات اقلیمی و تکتونیکی واکنش نشان می‌دهند. اثر این تغییرات در میزان حجم، مورفولوژی (مخروط ساده یا تلسکوپیی) وضعیت تقارن و در صورت وجود فضای دسترس، در گسترش طولی مخروط افکنه‌ها نمایان می‌گردد. بررسی‌ها نشان داد که در محدوده مورد مطالعه مساحت حوضه‌ها تاثیر معناداری بر حجم مخروط افکنه‌ها ندارد و رابطه مذکور بصورت مستقیم اما ضعیف می‌باشد. به طوری که مقدار ضریب همبستگی بین دو مولفه مذکور ۰/۲۱ است. در این راستا با بکارگیری شاخص‌های ژئومورفیک؛ مشخص گردید که وضعیت فعالیت تکتونیکی منطقه متوسط به بالاست (جدول ۳). بنابراین با استخراج ویژگی‌های زمین شناسی و لیتولوژی حوضه‌های مورد مطالعه، نقشه موقعیت گسلها و انطباق داده‌های مذکور با محدوده حوضه‌های آبریز، مخروط افکنه‌ها و همچنین از طریق محاسبه نرخ بالآمدگی حوضه‌ها، وجود ارتباط بین میزان حجم مخروط افکنه‌ها و تکتونیک منطقه آشکار گردید. بطوریکه در هر حوضه بالاترین مقدار عامل V مربوط به مخروطی است که در حوضه بالادست آن گسل وجود داشته و از نرخ بالآمدگی تکتونیکی بالایی برخوردار است. وجود گسلهای معکوس چپگرد

ونرمال امتدادلغز راستگرد در بالادست مخروط افکنه‌های اسب فروشان و اله حق صحت مطلب فوق را تأیید می‌نماید. از سوی دیگر بالا بودن ضریب همبستگی بین حجم مخروط افکنه‌ها با نرخ بالا آمدگی حوضه‌ها به میزان ۰/۷۸. حاکی از معنادار بودن ضریب مذکور می‌باشد (شکل ۶). به صورتی که بالاترین حجم مربوط به مخروط افکنه‌های اله حق، برکاب، بیجند و اسب فروشان است که با نرخ بالا آمدگی بالای حوضه‌های آبریز بالادستی مشخص هستند. (شکل ۵). شایان ذکر است وجود فضای در دسترس مناسب در محدوده مخروط افکنه‌های مورد بحث، روند گسترش فیزیکی مخروطها را تا بستر رودخانه آجی چای تسهیل نموده است و فقط در حد وسط دشت سراب است که وجود شبکه عرضی آجی چای و بالا آمدگی گنبد‌های مارن گچ دار و سازند کنگلومرا در امتداد سیستم گسلی مرکز دشت سراب، توسعه مخروطها را محدود نموده است.

نکته مهمی که باید در بررسی تأثیر تکتونیک بر روند توسعه و تحول مخروط افکنه‌ها مورد توجه قرار گیرد؛ وجود شواهد مورفوتکتونیک و ژئومورفیک موجود در سطح مخروط افکنه هاست. وجود پرتگاه‌های خط گسلی معکوس در محل خروجی آبراهه اصلی از کوهستان، پشته‌های مسدود کننده در امتداد آبراهه‌های اسب فروشان، اله حق و برش راس مخروط افکنه‌ها به عمق چندین متر که عمدتاً در محل خروجی آبراهه اصلی از کوهستان دیده می‌شوند، انتقال و جابجایی مکرر فضای رسوب گذاری در سطح مخروط افکنه‌ها همگی بیانگر تداوم حرکات و بالا آمدگی تکتونیک و همچنین تأثیر تکتونیک فعال بر روند تحول مورفولوژی و میزان گسترش حجم مخروط افکنه‌های مورد مطالعه می‌باشد. بنابراین، در شرایط اقلیمی و حاکمیت سیستم‌های مورفوژنز کنونی به استناد شواهد فوق الذکر و یافته‌های پژوهش؛ تکتونیک فعال، عامل اصلی در گسترش یا کاهش حجم مخروط افکنه‌ها بوده و ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌های آبریز نظیر مساحت حوضه ی بالادستی (BA)، نقش عامل فرعی را ایفا می‌کنند.

## منابع

- بهرامی، شهرام (۱۳۹۳)، «برآورد حجم مخروط افکنه‌های واقع در حاشیه طاقدیس دنه خشک و ارتباط آن با تکتونیک»، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، شماره ۱۲، صص ۵۹-۷۲.
- ثقفی، مهدی؛ امیراحمدی، ابوالقاسم؛ ربیعی، مریم (۱۳۹۵)، «تشخیص واکنش‌های ژئومورفیک مخروط افکنه‌های جنوب دشت بیرجند به فعالیت‌های تکتونیکی و تغییرات آب و هوایی با استفاده از داده‌های میدانی»، *جغرافیا و برنامه ریزی*، شماره ۵۷، صص ۹۷-۱۱۴.
- خبازی، مصطفی؛ سیف، عبدالله؛ معیری، مسعود؛ نوحه سرا، مریم (۱۳۹۱)، «روابط کمی بین حجم مخروط افکنه‌ها و ارتباط آن با تکتونیک فعال (نمونه موردی: حوضه آبخیز کویر دق سرخ در ایران مرکزی)»، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، شماره ۲، صص ۱۰۳-۱۲۶.
- خیام، مقصود؛ مختاری کشکی، داود (۱۳۸۲)، «ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیکی بر اساس مورفولوژی مخروط افکنه‌ها (مورد نمونه: مخروط افکنه‌های دامنه شمالی میشوداغ)»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۴۴، صص ۱-۱۰.
- علیزاده، امین (۱۳۸۰)، «اصول هیدرولوژی کاربردی»، انتشارات آستان قدس رضوی، ۷۰۰ صفحه.
- کریمی، فریبا (۱۳۸۸)، «ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه زهکشی سعیدآباد چای»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۶۹، صص ۸۲-۶۷.
- گورابی، ابوالقاسم؛ کریمی، مصطفی (۱۳۹۱)، «روشی جدید در استخراج مخروط افکنه‌ها از مدل رقومی ارتفاع»، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، شماره ۳، صص ۸۹-۱۰۰.
- گورابی، ابوالقاسم؛ نوحه گر، احمد (۱۳۸۶)، «شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۶۰، صص ۱۷۷-۱۹۶.
- مقصودی، مهران؛ محمدنژاد وحید (۱۳۹۲)، «ژئومورفولوژی مخروط افکنه‌ها»، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۲۲۲ صفحه.
- Baylis, E.J. (2009), "An Investigation of the Hazard Associated with the Alluvial Fans on the Kaikoura coast, South Island, New Zealanda, M.S.Thesis in physical Geography, Victoria University of Wellington.

- Burbank, D..., Anderson, R.S. (2001), "Tectonic Geomorphology", Blackwell Science, Oxford, 274 pp.
- Church, A.B. (1997), "Fan Deposition in Northwestern Vermont: Depositional Activity and Aggradations Rates over the Last 9500 years", [Master's Thesis], Burlington, University of Vermont, 113pp.
- Giles, P.T. (2010), "Investigating the use of alluvial fan volume to represent fan size in morphometric studies", *Geomorphology* 121, 317–328.
- Hamdouni, R.E., Irigaray, C., Fernandez, T; Chacon, J; Keller, E.A. (2008), "Assessment of relative active tectonics, south West border of the Sierra Nevada (southern Spain)", *Geomorphology* 6, 1103.
- Keller, E.A., Pinter, N. (2002), "Active Tectonics, Earthquakes, Uplift, and Landscapes, Prentice Hall, New Jersey, 362 pp.
- Li, L., Tang, J.C., Tan, L., Duan, L. (1998), "Impact of tectonics on alluvial Landforms in the Hexi Corridor (North estt China)", *Geomorphology* 28, 299-308.
- Nanninga, P., Wasson, R.J. (1955), "Calculation of the volume of an Alluvial Fan", *Mathematical Geology* 17, 53-65.
- Perez Pena, J.V., Azor, A., Azaón, Ó., Keller, E.A. (2010), "Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): Insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis", *Geomorphology* 119, 74–87.
- Shahzad, F., Mahmood, S.A., Gloaguen, R. (2009), "Drainage Network and Lineament Analysis: An Approach for Potwar Plateau (Northern Pakistan)", *Journal of Mountain Science* 6, 14–24.
- Virseras, C.C., Gilvacheh, L., Soriano, J.M., Fernandez, J. (2003), "Differential features of alluvial fans controlled by tectonic or eustatic accommodation Space, Example from the Betic Cordillera, Spain", *Geomorphology* 50, 181–202.
- Wobus, C., Whipple, K.X., Kirby, E., Snyder, N., Johnson, J., Spyropolou, K.B., Crosby, B.T., Sheehan, D. (2006), "Tectonics from

Topography: Procedures, Promise and Pitfalls, in Willett SD, GSA Special Paper 398, 55-74.

-Yang, JCC (1885), "Geomorphology (in Chinese)", High Education press, Beijing, 320p.

