

## بررسی مورفولوژی پرتگاه‌ها و تحول پسروری جبهه شمالی توده کوهستانی الوند

علیرضا ایلدرمی<sup>۱</sup>

### چکیده

توده کوهستانی الوند با جهت شمال غربی - جنوب شرقی در همدان واقع شده است و جبهه شمالی این توده تحت تأثیر مورفولوژی، تکتونیک و عوامل مختلف فرساینده به شدت ناپایدار شده است. از طریق برآورد میزان فرسایش و یا بررسی عوامل مؤثر در ساختارهای ژئومورفیک، می‌توان میزان ناپایداری دامنه‌های آن را ارزیابی کرد. برای انجام این بررسی از داده‌های کمی ژئومورفولوژی استفاده شده است. به منظور ارزیابی مورفولوژی پرتگاه‌ها و تحول پسروری جبهه شمالی توده کوهستانی الوند، ابتدا منطقه مورد مطالعه به ۱۲ زیرحوضه تقسیم و شاخص‌های مورفومتریک از قبیل میل‌یافتگی، عقب‌نشینی موازی، جان‌نشینی، گردشگی، شکل سینوسی جبهه کوهستان، تسطیح شدگی، گرادیان رودخانه، شاخص نسبت پهنای دره به عمق، شاخص مخروط افکنه‌ها و شاخص تقارن توپوگرافی در خصوص هر یک از زیر حوضه‌ها محاسبه گردید. نتایج نشان داد که شاخص‌های محاسباتی، بیانگر شدت فعالیت مورفودینامیک و فرسایش در زیرحوضه‌های مختلف منطقه و ناپایداری این توده است. به علاوه وجود شیب‌های فراوان از نوع W.L.S نه تنها موجب تحول دامنه‌ها گشته، بلکه منجر به تشدید فرایندهای دامنه‌ای از قبیل جان‌نشینی، گردشگی، میل‌یافتگی و عقب‌نشینی موازی شده است که با تغییر مورفولوژی دامنه و فرایند جان‌نشینی شروع و با گذشت زمان به گردشگی خاتمه می‌یابد. از دیگر شاخص‌های مورفودینامیک فعال منطقه می‌توان به وجود تپه‌های مسدودکننده، سطوح مثلثی شکل و شکل سینوسی جبهه شمالی کوهستان الوند اشاره کرد که به شکل خطی یا منحنی - خطی بر روی نقشه‌های توپوگرافی قابل تشخیص است. مقایسه ارقام شاخص‌های محاسباتی، بیانگر تحول و پسروری منطقه بر اثر فاصله‌بندی حوضه‌های زهکشی مجاور، در گذشت زمان و پهنای محدوده کوهستان الوند است. به نظر می‌رسد که جبهه شمالی الوند بیشتر تحت تأثیر سیستم فرسایشی پریگلاسر در حال تحول و پسروری است.

**واژگان کلیدی:** توده کوهستانی الوند، مورفولوژی، پرتگاه، عقب‌نشینی موازی، جان‌نشینی، گردشگی، سطوح مثلثی شکل، تسطیح شدگی.

## مقدمه

مورفولوژی جبهه‌های کوهستان در تعیین فعالیت نسبی آنها از نظر تکتونیکی و پایداری پرتگاه‌ها و تحول پسروی به عنوان یک شاخص مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین می‌توان با ارزیابی کمی شاخص‌های ژئومورفولوژی نه تنها ساختارهای ژئومورفیک بلکه نحوه تحول جبهه کوهستان و پس روی آن به خوبی مشخص می‌شود.

مورفولوژی جبهه شمالی کوهستانی الوند تحت تأثیر گسل‌های حاصل از فعالیت تکتونیکی و عوامل مختلف فرسایش به شدت ناپایدار شده است (سلیمانی، شهریار ۱۳۷۸: ۲۳). از ساختارهای مهم با ماندگاری طولانی‌تر می‌توان به پرتگاه‌ها و جبهه‌های کوهستانی اشاره نمود. به همین منظور لازم است فرایندهای دامنه‌ای، وضعیت شیب‌ها، پرتگاه‌ها و همچنین عوامل مؤثر در توازن آنها بررسی شوند. در این بررسی، شیب‌ها به علت حساسیت عملکردشان در مقابل عوامل خارجی و داخلی و نیز عوامل مورفولوژی مؤثر در توازن آنها که باعث دوام و بقاء آنها در طول زمان می‌شود، مورد مطالعه قرار گرفته است. به عبارت دیگر، در طول زمان به دلیل عملکرد فرایندهای دامنه‌ای بر روی یک شیب، مورفولوژی آن تغییر یافته و به صورت یکی از حالات میل‌یافتگی، عقب‌نشینی موازی، جان‌نشینی، گردشگی و ... تحول می‌یابد.

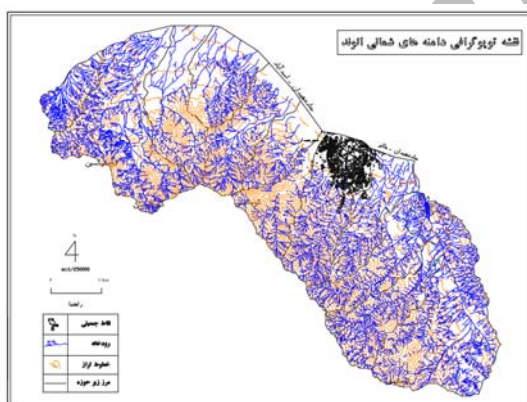
با بررسی ساختارهای ژئومورفیک و با استفاده از شاخص‌های دیگر می‌توان نحوه تحول و پس روی جبهه کوهستان و پیدایش پرتگاه‌ها را مشخص نمود. برای این منظور از شاخص‌هایی مثل شکل سینوسی کوهستان، عدم تقارن حوضه‌های

آبخیز، عقب نشینی و میل یافتگی استفاده می‌شود (بول و مک فودن ۱۹۷۷: ۴۴، والاسه ۱۹۸۸: ۲۲، بوکنام و اندرسون ۱۹۸۰: ۱۶۸، کلر ۱۹۹۶: ۱۰۳). ناپایداری و تغییر شیب دامنه‌ها و پس روی آنها از طریق ریزش‌های سنگی در کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی و افت سطح ایستابی آب‌ها و کاهش سایر منابع آب مؤثر بوده است (باکر و سیلور ۱۹۸۳، فلد ۱۹۷۳: ۲). از شاخص‌های ژئومورفیک می‌توان برای طبقه‌بندی پایداری و ناپایداری جبهه کوهستان و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از لحاظ میزان فرسایش استفاده کرد (فردلند و کراهن ۱۹۷۷: ۱۳۱). با محاسبه شاخص‌های مورفوتکتونیک بر روی شیب‌های طبیعی می‌توان با استفاده از روش‌های تحلیلی، مورفولوژی پرتگاه‌ها و تحول پسروری جبهه کوهستان را با تعیین میزان فرسایش مورد ارزیابی قرار داد (کمک‌پناه و منتظرالقائم ۱۳۷۱: ۷۱). با استفاده از مدل‌های مورفوتکتونیک همچنین می‌توان فرایندهای دامنه‌ای را در قالب عقب‌نشینی، جایگزینی، میل یافتگی و ... در جهت ارزیابی پایداری دامنه‌ها نیز به کار بست (آندرسون، ریچارد ۱۹۸۷: ۳).

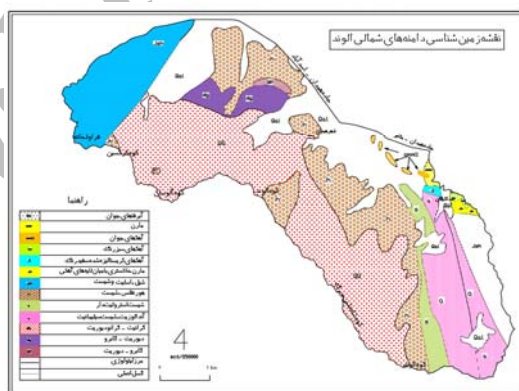
### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به مساحت ۲۷۴۵ کیلومتر مربع در دامنه شمالی الوند (ارتفاعات مرکزی استان همدان) در محدوده  $48^{\circ} 44' 29''$  تا  $48^{\circ} 6' 45''$  طول شرقی و  $34^{\circ} 35' 20''$  تا  $34^{\circ} 34' 50''$  عرض شمالی در محدوده زاگرس مرکزی واقع شده است (شکل ۱). سنگ‌های منطقه از نوع گرانیت نفوذی، شیل، اسلیت و شیست‌های دوره ژوراسیک است. شکل (۲) بر اساس آمار آب و هواشناسی ایستگاه گردنه اسدآباد (۸۶-۱۳۷۶) متوسط درجه حرارت سالانه منطقه  $10.75^{\circ}C +$  است که در فصول زمستان و تابستان از  $15^{\circ}C -$  تا  $34^{\circ}C +$  تغییر

می‌کند. سردترین ماه سال بهمن و گرم‌ترین آن مرداد است. میانگین بارش منطقه ۴۴۳/۱۱ میلی‌متر در سال است. بر اساس منحنی آمبروترمیک ماه‌های خشک سال، اردیبهشت تا شهریور هستند. آب و هوای منطقه بر اساس روش آمبروزه، حد واسط نیمه‌خشک سرد و نیمه مرطوب است.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه



شکل (۲) نقشه زمین شناسی منطقه

## مواد و روش‌ها

روش تحقیق بر اساس هدف تحقیق انتخاب شده و با توجه به پیچیدگی موضوع، تنوع و تعدد عوامل مورد بحث، سعی شده است تا روشی انتخاب شود که متناسب با شرایط و ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه باشد و اهداف مورد نظر را تأمین کند؛ بر همین اساس، محدوده منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ مشخص گردید؛ سپس نقشه‌های شیب، ارتفاع و جهت با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی تهیه شد و با استفاده از عکس‌های هوایی و نقشه‌های به دست آمده واحدهای کاری تعیین شد. نقشه لیتولوژی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و نقشه رقومی توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه شد. تعیین و تفکیک فرایندهای دامنه‌ای براساس روش وارنز و طبقه‌بندی آنها بر اساس تعداد و فراوانی صورت گرفت. به منظور بررسی پرتگاه‌ها، و تحول و پسروری جبهه کوهستان، دو نوع شیب یعنی شیب‌های نوع  $W.L.S^1$  و دیگر شیب‌های نوع  $T.L.S^2$  انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳) و با مطالعه آنها و تعیین سرعت حرکت مواد فرسایش یافته در واحد سطح، تغییرات حاصله از لحاظ تغییر مورفولوژی ارزیابی شد (شکل ۴). با تجزیه و تحلیل حالات مذکور همراه با محاسبه شاخص‌های مورفومتری چون تسطیح شدگی، گرادیان رودخانه و شکل سینوسی و ... شدت مورفودینامیک فعال را که نشانه‌ای از تحول و پسروری جبهه کوهستانی است،

### 1- Weathering Limited Slopes

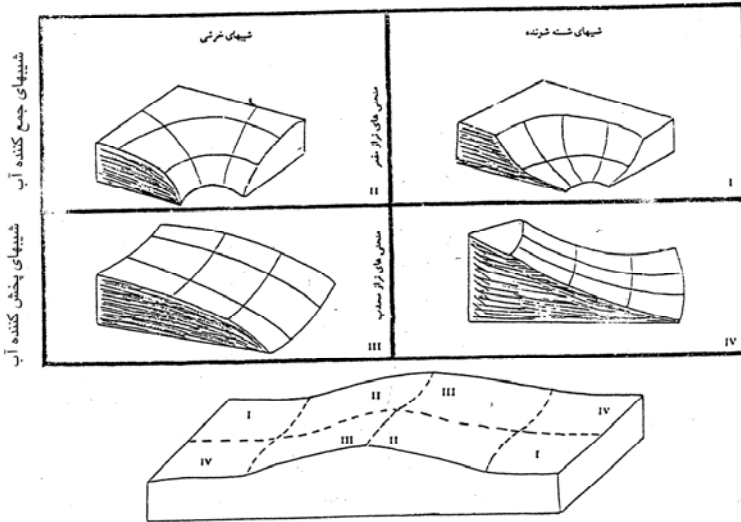
- شیب‌هایی هستند که سرعت جابجایی مواد و فرایند دامنه‌ای بر روی آنها بیش از سرعت تولید خاک است.

### 2- Transport Limited Slopes

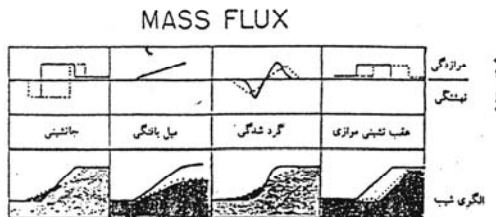
- شیب‌هایی هستند که سرعت جابجایی مواد و فرایند دامنه‌ای بر روی آنها کمتر از سرعت تولید خاک است.

ارزیابی کردیم (شکل ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲). همچنین شرایطی که در طی آن سرعت ظهور عناصر منفصل مانند رگولیت‌ها با سرعت از بین رفتن آن به تعادل می‌رسد بر روی شیب‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت تا ارزیابی دقیقی از فرایندهای دامنه‌ای و تحول و پسروی آنها ارائه شود (شکل ۱۴). سپس از طریق برآورد میزان فرسایش و یا تعیین عوامل مؤثر در ساختارهای ژئومورفیک میزان ناپایداری، تحول و پسروی توده‌ی کوهستان مشخص گردید؛ یعنی با برقراری ارتباط بین فرایندهای تکتونیکی و ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی براساس شناسائی میزان تغییرات ایجاد شده در ساختارهای ژئومورفیکی، مقادیر تغییر شکل و شدت فرایند دامنه‌ای تعیین شد. بنابراین با مطالعه تغییرات ساختاری پرتگاه‌ها و مورفولوژی آنها و تعیین میزان فرسایش با استفاده از شاخص‌های مورفومتریک، تحول مورفولوژی و پسروی جبهه کوهستانی مورد بررسی قرار گرفت و از این طریق شدت فعالیت مورفودینامیکی منطقه، معین و مناطق مختلف از یکدیگر تفکیک و اولویت‌بندی شد. بدین منظور محدوده جبهه شمالی کوهستانی الوند به ۱۲ زیرحوضه تقسیم شد (شکل ۱۳) و با تحلیل شاخص‌های مورفومتری مختلف از جمله میل‌یافتگی، عقب‌نشینی موازی، جان‌نشینی، گردشگی، شکل سینوسی جبهه کوهستان، تسطیح شدگی، گرادیان رودخانه و شاخص نسبت پهنای دره به عمق، مورفولوژی پرتگاه‌ها و تحول پسروی جبهه شمالی توده الوند مورد بررسی قرار گرفته است (آیسون، ۱۹۹۶: ۴۵)؛ (شکل ۱۳).

در این خصوص کلیه تحلیل‌های کمی به طور جداگانه در هر یک از زیرحوضه‌ها و سپس نتیجه‌گیری‌ها در خصوص تحول جبهه شمالی کوهستان الوند همراه با بازدیدهای صحرایی جهت تأیید داده‌ها انجام شده است.



شکل (۳) طبقه‌بندی شیب‌ها بر اساس نوع انحنا مقطع زمین و نوع انحنا منحنی‌های تراز



دیاگرام Mass-Flau که بیانگر اختلافات موجود در مدل‌های شیبهای مختلف از لحاظ چگونگی فرسایش یا نهشتهگی در طول یک مقطع می‌باشد

شکل (۴) دیاگرام Mass-Flau که بیانگر اختلاف موجود در مدل‌های شیب‌های مختلف از لحاظ چگونگی فرسایش یا نهشتهگی در طول یک مقطع می‌باشد.

در این بررسی به منظور دستیابی به اهداف تحقیق از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی متعددی استفاده شده است که عبارت‌اند از:

شاخص نسبت پهنای دره به عمق (V): هر چه مقدار عددی این شاخص به ۱ نزدیک باشد، مقطع عرضی دره به شکل U نزدیک‌تر و بیانگر دره‌ای با پهنای زیاد و عمق کم و میزان فرسایش بیشتر خواهد بود و اگر V از یک کوچک‌تر باشد دره V شکل بوده و میزان فعالیت در آن بیشتر خواهد بود. مقدار عددی یکسان این شاخص، توصیف‌کننده دره‌هایی با مورفولوژی متفاوت و ناپایداری دره‌ها و دامنه‌هاست (شکل ۵).

$$V_f = \frac{2 \times V_{fw}}{[(E_{id} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})]} \quad \text{رابطه (۱)}$$

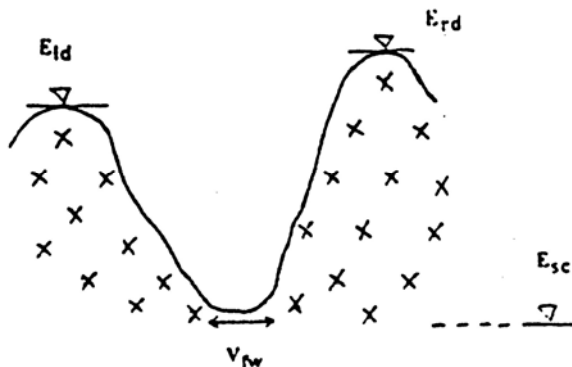
Vf: شاخص نسبت پهنای دره به عمق

Vfw: عرض بستر دره

Eid: ارتفاع دیواره سمت چپ دره

Esc: ارتفاع بستر دره

Erd: ارتفاع دیواره سمت راست دره



شکل (۵) مقطع عرضی و شماتیک جهت محاسبه شاخص نسبت پهنای دره به عمق



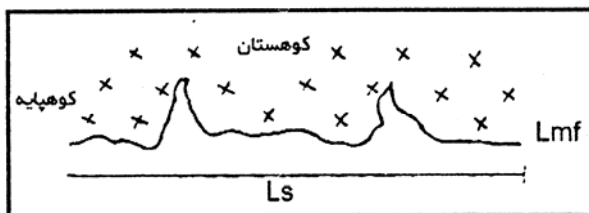
۲. مقدار سینوسی جبهه کوهستان: اگر مقادیر عددی نزدیک به ۱ باشد، بیانگر مناطق فعال فرسایشی است و اگر از ۱ کمتر باشد برعکس (شکل ۶).

$$S_{mf} = \frac{L_{mf}}{L_s} \quad (\text{رابطه } ۲)$$

$S_{mf}$ : سینوسی جبهه کوهستان

$L_{mf}$ : طول جبهه کوهستان در محل حد بین کوهستان و کوهپایه

$L_s$ : طول مستقیم جبهه کوهستان



شکل (۶) مقطع افقی و شماتیک جهت محاسبه شاخص سینوسی

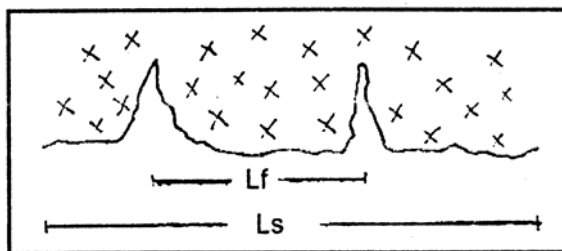
۳. شاخص تسطیح شدگی جبهه کوهستان: درصدهای بالای این شاخص (معمولاً بیش از ۵۰٪) بیانگر فعال بودن فرآیند فرسایشی و ناپایداری حوضه‌های آبخیز است (شکل ۷).

$$\text{Facet \%} = \frac{L_f}{L_s} \quad (\text{رابطه } ۴)$$

Facet: شاخص تسطیح شدگی جبهه کوهستان

$L_f$ : طول سطح در جبهه کوهستان

$L_s$ : طول خط مستقیم جبهه کوهستان



شکل (۷) مقطع افقی و شماتیک جهت محاسبه شاخص تسطیح شدگی

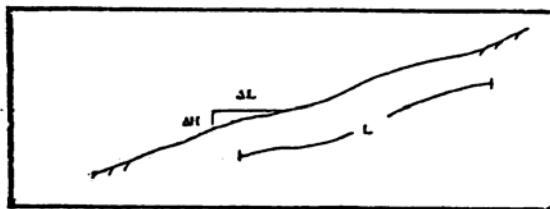
۴. شاخص گرادیان رودخانه: مقدار این شاخص به قدرت رودخانه و دبی آب بستگی دارد. مقادیر زیاد این شاخص، بیانگر فعالیت مورفودینامیکی و فرآیندهای فرسایشی و ناپایداری حوضه است (شکل ۸).

$$S_i = \frac{\Delta H}{\Delta L} \times L \quad (\text{۸}) \text{ رابطه}$$

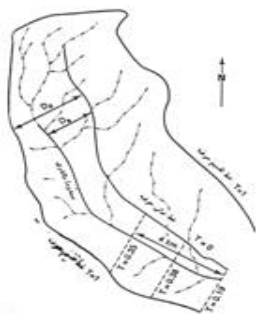
SI : شاخص گرادیان رودخانه

$\Delta H/\Delta L$  : گرادیان محلی رودخانه

L : طول کانال رودخانه از خط تقسیم آبراهه تا مرکز بخشی که گرادیان آن محاسبه شده است



شکل (۸) مقطع افقی و شماتیک جهت محاسبه شاخص گرادیان رودخانه



شکل (۹) نقشه‌ای شماتیک از یک حوزه آبخیز و پارامترهای لازم جهت محاسبه شاخص  $T$

۵. شاخص تقارن توپوگرافی عرضی ( $T$ ): مقدار  $T$  برداری با جهت‌گیری خاص و با مقادیری از صفر تا یک می‌باشد که مقادیر عددی نزدیک به ۱ می‌تواند بیانگر فعالیت مورفودینامیکی و فرسایش باشد و برعکس (شکل ۹).

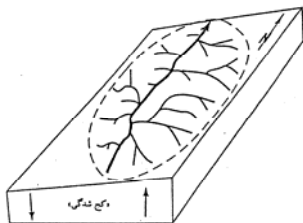
$$T = \frac{D_d}{D_a} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$T$ : شاخص تقارن توپوگرافی

$D_a$ : فاصله نوار مئاندري فعال از خط میانه حوضه آبریز

$D_d$ : فاصله خط میانی حوضه آبریز از خط مرز حوضه

۶. شاخص عدم تقارن آبراهه در حوضه: هر چه مقادیر عددی این شاخص تقریباً ۵۰ باشد، بیانگر وجود تقارن آبراهه‌های فرعی نسبت به آبراهه اصلی و در نتیجه، عدم وجود کج‌شدگی بر اثر فرسایش است. مقادیر بیشتر از ۵۰ و کمتر از آن به ترتیب بیانگر عملکرد فرسایش در ساحل راست و چپ آبراهه اصلی است (شکل ۱۰).



شکل (۱۰) بلوک دیاگرام شماتیک جهت محاسبه شاخص عدم تقارن آبراهه

$$A_f = 100(A_v / A_t) \quad (۵) \quad \text{رابطه}$$

$A_v$ : مساحت حوضه دربرگیرنده زهکش‌های فرعی

در ساحل سمت راست آبراهه اصلی ( $\text{km}^2$ ).

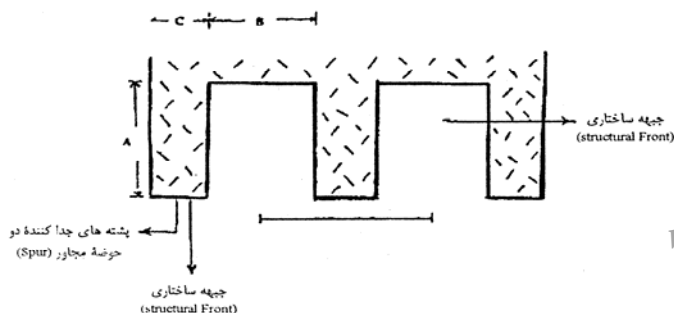
$A_t$ : مساحت حوضه دربرگیرنده زهکش‌های فرعی

در ساحل سمت چپ آبراهه اصلی ( $\text{km}^2$ ).

$A_f$ : شاخص عدم تقارن آبراهه

### ۷. شاخص فاصله‌بندی و سینوسی

در این بررسی هرچه فاصله‌بندی حوضه‌های زهکشی مجاور بیشتر باشد، مقدار سینوسی نیز بیشتر و هر چه پهنای محدوده کوهستان بیشتر باشد، مقدار سینوسی نیز بیشتر خواهد بود (شکل ۱۰).



شکل (۱۱) مقطع افقی شماتیک فرضی جبهه کوهستان جهت محاسبه فاصله‌بندی و سینوسی

$$S_{ref} = \frac{2A + B + C}{B + C} = \frac{2A}{B + C} + 1 \quad \text{رابطه (۲)}$$

Sref : شاخص سینوسی

A : پهنای محدوده بلوک کوهستانی

B : پهنای حوضه زهکشی

C : پهنای پشته‌های جداکننده

۸. شاخص نسبت V : (شکل ۱۲).



شکل (۱۲) مقطع قائم از یک دره فرضی جهت محاسبه شاخص مورفولوژی دره

$$V = \frac{A_v}{A_c} \quad \text{رابطه (۶)}$$

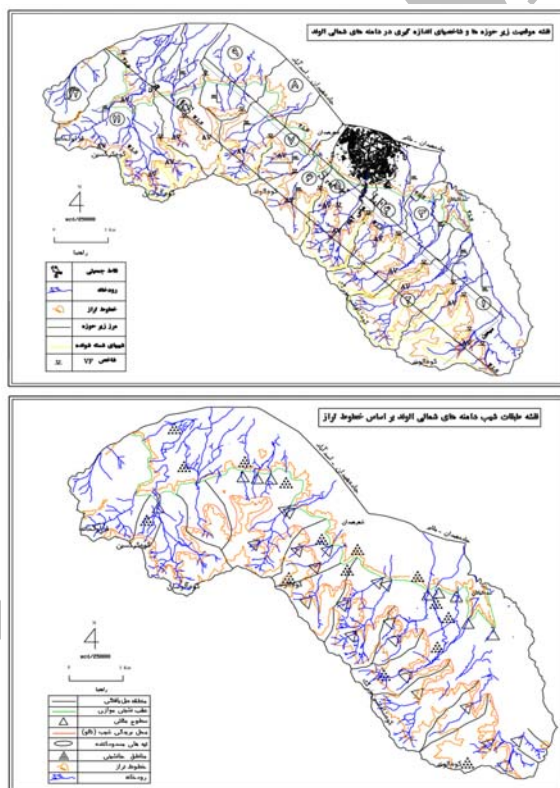
V : شاخص نسبت

$A_v$  : مساحت دره در مقطع عرضی (m<sup>2</sup>)

$A_c$  : مساحت نیم دایره‌ای به شعاع H (m<sup>2</sup>)

۹. شاخص وسعت مخروط افکنه: مقدار زیاد این شاخص بیانگر وسعت زیاد مخروط افکنه‌ها و پر شیب در دهانه رودخانه و بیانگر فرسایش و ناپایداری شدید در بالادست حوضه آبخیز است. برای محاسبه این شاخص از دو معادله استفاده

می‌شود که عبارت‌اند از: - معادله الف ( $A_{F1} = 3.34 * A_d^{0.55}$ ) که مشخص‌کننده مخروط افکنه‌های کوهستانی فعال است که با مقادیر شاخص سینوسی Smf و نسبت پهنای دره به عمق همخوانی دارد. - معادله ب ( $A_{F2} = 0.59 * A_d^{0.9}$ ) که بیانگر مخروط افکنه‌هایی است با آرامش تکتونیکی و میزان فرسایش کم که پارامترهای آن عبارتند از: Af: شاخص وسعت مخروط افکنه، Ad: وسعت حوضه زهکشی



شکل (۱۳) نحوه محاسبه شاخص های مورفومتری

## بحث و نتیجه‌گیری

در توده کوهستانی الوند همدان شیب‌هایی از نوع (W.L.S) و (T.L.S) بسیار متعدد و فراوان است. شیب‌های دارای تحدب با تسلط پدیده خزش و شیب‌های دارای تقعر با تسلط شویندگی همراه با سایر عواملی چون لیتولوژی، ویژگی‌های هیدرولوژی آب‌های سطحی، پوشش گیاهی و ... موجب تحول دامنه‌ها شده است (ایلدرمی، ۱۳۸۱). بر اساس مشاهدات میدانی و بررسی نقشه‌های توپوگرافی، شیب‌های شسته شونده در ارتفاعات الوند، شاه‌نشین، کلاه‌قاضی، قزل، سرخ بلاغ، آلوسان، کرکس از نوع محدب یا پخش‌کننده آب با ستیغ‌های مضرس و دامنه‌های پر شیب واقع شده‌اند در حالی که بر روی ارتفاعات منطقه گنج‌نامه و ارتفاعات میانی توده الوند سطح نسبتاً همواری دیده می‌شود که جزو شیب‌های جمع‌کننده آب و مناطق خزشی محسوب می‌شوند. مانند تخت رستم و میدان میشان (در ارتفاع ۲۸۰۰ متری). به علاوه بر روی دامنه‌های مشرف به دره ابرو، سیمین، عباس‌آباد، خاکو، دره غول و روان، انواع دامنه‌ها با شیب‌هایی از نوع شسته شونده با سرعت حرکت متفاوت مواد فرسایش یافته در واحد سطح و شیب به خوبی قابل شناسایی و تفکیک و حتی قابل مقایسه با قابلیت فرسایش‌پذیری<sup>۱</sup> است. لذا در طول زمان و در طی عملکرد فرایند فرسایش بر روی یک شیب، شکل آن ممکن است به صورت یکی از حالات زیر مشاهده شود:

پدیده میل‌یافتگی در مکان‌هایی نزدیک به خط تقسیم آب که فرایند فرسایش به شدت در حال فعالیت است؛ مانند ارتفاعات کلاه قاضی، تخت رستم، کلاغ لان،

آلوسان، کرکس و ... اما در ستیغ‌های گرانیتهی مقاوم در مقابل فرسایش از جمله در ارتفاعات شاه‌نشین، الوند، آلوسان پدیده‌ی عقب‌نشینی موازی به دلیل عملکرد یکسان فرسایش در طول شیب و کوتاه‌شدگی عرضی با سرعت تقریباً یکسان مشاهده می‌شود (شکل ۱۶). در برخی از دامنه‌های الوند، مواد حاصل از فرسایش پرتگاه‌ها در بخش قاعده‌ای شیب به شکل واریزه‌ها نهشته شده و با شیبی کمتر از شیب پرتگاه اولیه تجمع یافته‌اند؛ به طوری که سرایشی نهشته‌ای جدید جانشین شیب اولیه گشته است (شکل ۱۵). در مکان‌هایی که پدیده‌ی فرسایشی - نهشتگی متقارن باعث ایجاد شیب جدیدی شده و مقدار انحناي آن در طی زمان کاهش یافته، اتصال دامنه‌های پر شیب توده‌ی الوند به یک بریدگی شیب را به دنبال داشته است. این عمل تحت تأثیر فرایند گردش‌دگی، موجب شکل‌گیری تالو در منطقه گشته است. فرایندهای چهارگانه‌ی فوق‌الذکر در جهت شمالی الوند در مراحل مختلف تغییر کرده، به یکدیگر تبدیل می‌شود (شکل ۱۴).

در توده‌ی کوهستانی الوند گسل‌های کوچک و بزرگ، سطوح توپوگرافی را جابه‌جا و در برخی از مکان‌ها سطوح مثلی شکلی را ایجاد کرده که بیانگر سطح فرسایش در این بخش است (ایلدرمی، ۱۳۷۴)؛ به طوری که سطوح مذکور، حاکی از نبود زمان کافی برای فرسایش کامل آنهاست. در این حالت جایگیری منظم حوضه‌های زهکشی، از نسبت بین فواصل دهانه‌های حوضه در طول جهت کوهستان و حوضه‌ی زهکشی پیروی می‌کند؛ به طوری که تمام ناحیه‌ی داخل بلوک کوهستانی زهکشی می‌شود. احتمالاً این نوع مورفولوژی منعکس‌کننده‌ی تاریخچه‌ی فرسایشی و تحول منطقه بوده، بیانگر شدت فعالیت مورفودینامیکی منطقه و جابه‌جایی شدید مواد و انباشت آن در مکان‌های دیگری است (ایلدرمی، ۱۳۸۱).



تجمع مقدار فراوانی از نهشته‌های رسی و ماسه‌ای از تخریب فیزیکوشیمیایی سنگ‌های گرانیتی و شیست‌های منطقه در دره‌های انباشتی به دلیل مورفولوژی آنها همچون دره ابرو و سیمین از حمل بسیار فراوان مواد از بالا دست حکایت می‌کند. تشکیل چنین چاله تراکمی ناشی از فعالیت تکتونیکی به شکل ایجاد گسل ابرو و استقرار رودخانه‌ای بر روی آن و انباشت مواد در اثر فرایندهای دامنه‌ای به ویژه لغزش‌ها و ریزش مواد است (ایلدرمی، ۱۳۸۴).

جبهه شمالی کوهستان الوند که گاهی به شکل خطی و گاهی به شکل منحنی - خطی بر روی نقشه توپوگرافی مشاهده می‌شود، مقدار سینوسی کمی داشته و این موضوع از فعالیت شدید عوامل مورفودینامیکی و فرسایشی ناشی شده است (شکل ۶). در حالی که در برخی از مناطق جبهه کوهستان با دهانه‌های عمیق، مقدار سینوسی شدید بوده و نشانه آرامش فعالیت مورفودینامیکی منطقه است (سلیمانی، ۱۳۷۸).

در ارتفاع بیش از ۲۷۰۰ متری با تشکیلات گرانیتی و هورنفلسی بیشترین مقدار سینوسی مشاهده می‌شود، که نشان دهنده تأثیر لیتولوژی و وسعت حوضه‌های زهکشی مجاور در انحنا یا خطی بودن جبهه کوهستانی الوند است (شکل ۱۳).

مقدار سینوسی جبهه کوهستان الوند به سه عامل اساسی یعنی فاصله‌بندی حوضه‌های زهکشی مجاور، زمان و پهنای محدوده کوهستان بستگی دارد. مقدار سینوسی جبهه شمالی الوند در سه نقطه اندازه‌گیری و به طور متوسط مقدار آن برابر  $S_{ref} = 5.01$  به دست آمده است (جدول ۱). این مقدار بیانگر عقب‌نشینی و حمل شدید مواد از روی دامنه‌هایی با لیتولوژی حساس به فرسایش یعنی

گرانیت‌ها و شیست‌ها است. وجود آب و هوای نیمه مرطوب سرد و حاکمیت سیستم فرسایش پریگلایر در این خصوص، بسیار مؤثر است.

جدول (۱) مقدار سینوسی نمونه‌های محاسبه شده

تعداد نمونه‌ها	نمونه اول (سیمین)	نمونه دوم (عباس آباد)	نمونه سوم (روان)	$S_{ref}$ مقدار سینوسی
A	21/2 Cm	14/5 Cm	۱۷/۸ Cm	۴/۵
B	7/3 Cm	4/3 Cm	۷/1 Cm	۵/۳۳
C	4/۸ Cm	2/4 Cm	۱/4 Cm	۵/۲

با توجه به اینکه محاسبه شاخص‌های مورفودینامیک فعال منطقه، برای ارزیابی تحول و پسروری ناهمواری‌ها و جبهه کوهستانی توده ضرورت دارد؛ لذا شاخص‌هایی چون سینوسی، تسطیح شدگی، گرادیان رودخانه، نسبت پهنای دره به عمق، مورفولوژی دره، مخروط افکنه، عدم تقارن آبراهه و تقارن توپوگرافی عرضی به منظور درک صحیحی از وضعیت مورفودینامیکی جبهه شمالی الوند اندازه‌گیری و محاسبه شده‌اند (ماتسوکورا، ۱۹۸۸). مقدار شاخص سینوسی بیانگر این نکته است که توازن میان نیروی فرسایشی و حمل رود و فرایندهای دامنه‌ای در جبهه شمالی الوند برقرار است و منجر به ایجاد جبهه کوهستان الوند با شکلی نامنظم و در پاره‌ای از مناطق به شکل مستقیم شده است. همچنین به منظور درک صحیحی از وضعیت تحول و ارزیابی دقیق‌تر از شرایط محلی و موقعیت مکانی دامنه شمالی الوند، و مقایسه برخی از شاخص‌ها، محاسبات مذکور در زیر حوضه‌های ۱۲ گانه به انجام رسیده تا از این طریق شدت فعالیت مورفودینامیکی منطقه به خوبی بررسی شود نتایج حاصله در جدول ۲ ارایه شده است.

جدول شماره (۲) نتایج حاصله از محاسبه شاخص‌های تحول و پسروی جبهه شمالی الوند

زیرحوضه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
پارامتر													
اختلاف ارتفاع در طول قسمتی از آبراهه (متر) $\rho H$	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	
طول قسمتی از آبراهه (متر) $\rho L$	۳۷۰۰	۲۴۰۰	۱۷۰۰	۸۰۰	۲۱۰۰	۱۳۰۰	۱۵۰۰	۱۶۰۰	۱۶۰۰	۲۴۰۰	۲۳۰۰	۷۰۰	
فاصله بین حوضه‌های زهکشی مجاور (متر) $L$	۱۴۰۰۰	۱۱۰۰۰	۹۰۰۰	۷۰۰۰	۷۰۰۰	۱۱۰۰۰	۶۵۰۰	۹۰۰۰	۴۵۰۰	۱۱۰۰۰	۱۴۰۰۰	۵۰۰۰	
شاخص گردادیان رودخانه $SL$	۳۷۸/۴	۴۵۸/۴	۵۲۹/۴	۸۷/۵	۳۳۳/۳	۸۶/۱	۴۳۳/۳	۵۶۲/۵	۲۸۱/۲	۴۵۸/۳	۶۰۸/۷	۷۱۴/۳	
عرض بستر دره (متر) $VFW$	۵۵۰	۵۰۰	۷۰۰	۴۰۰	۳۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۴۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۷۰۰	۳۰۰	
ارتفاع دیواره سمت چپ دره (متر) $Eld$	۳۵۰۰	۲۴۵۰	۲۵۰۰	۲۴۰۰	۲۵۰۰	۲۴۰۰	۲۲۵۰	۲۴۵۰	۲۴۰۰	۲۴۰۰	۲۳۰۰	۲۲۵۰	
ارتفاع دیواره سمت راست دره (متر) $Erd$	۲۳۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۴۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۵۰۰	۲۳۷۰	۲۵۰۰	۲۳۷۰	۲۳۰۰	
ارتفاع بستر دره (متر) $Ese$	۲۱۸۰	۲۲۲۰	۲۳۰۰	۲۲۲۰	۲۳۰۰	۲۱۰۰	۲۱۵۰	۲۲۰۰	۲۱۸۰	۲۳۸۰	۲۱۰۰	۲۱۵۰	
شاخص نسبت پهنای دره به عمق $VF$	۲/۵	۱/۷۹	۳/۱۱	۱/۷۴	۲	۱/۸۲	۸	۴/۶۶	۱/۹۵	۵/۷۱	۲/۹۸	۲/۴	
مساحت دره در مقطع عرضی (متر مربع) $Av$	۴۱۰۰	۲۵۰۰	۱۶۰۰	۶۶۰۰	۳۵۰۰	۲۱۰۰	۸۰۰	۵۱۰۰	۱۴۰۰	۱۳۰۰	۱۲۰۰	۶۰۰	
مساحت نیم دایره‌ای به شعاع $H$ متر مربع $Av$	۲۲۶۱۹/۵	۱۳۳۱۵۰/۴	۷۹۵۲۱/۶	۸۰۳۹۰۰/۱	۵۹۷۲۹/۵	۱۱۸۷۹۱/۵	۲۴۵۴۳/۶	۱۴۱۳۸/۶	۶۴۰۹۴/۸	۱۷۳۱۸۰/۲	۱۶۷۴۸/۲	۲۴۵۴۳/۶	
ارتفاع دره (متر) $H$	۱۲۰	۲۸۰	۲۲۵	۲۳۰	۱۹۵	۲۷۵	۱۲۵	۳۰۰	۲۰۲	۱۰۵	۲۳۵	۱۲۵	
شاخص مورفولوژی دره $V$	۰/۱۸	۰/۳۰	۰/۲۰	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۲	
مساحت (مربع) $Ad$	۱۲۲/۶	۵۱/۶	۴۸/۳	۴۷/۳	۷۲/۴	۵۲/۷	۲۶/۶	۴۵/۱	۴۳/۳	۵۱/۲	۱۰۲/۶	۵۳/۱	
مساحت مخروط افکنه $AF$	۳۷/۲	۱۲/۸	۱۱/۷	۲۲/۶	۳۴/۴	۱۲/۲	۷/۳	۹/۳	۹/۵	۹/۶	۴۳/۴	۹/۲	
شاخص وسعت مخروط افکنه (۱)	۴۷/۰۳	۲۹/۲۲	۲۸/۱	۲۷/۸	۳۵/۳	۲۹/۵۶	۲۰/۲۹	۲۷/۱	۲۶/۵	۲۹/۰۹	۴۲/۶	۲۳/۶	
شاخص وسعت مخروط افکنه (۲)	۲۷/۶۵	۱۳/۸۳	۱۳/۱۲	۱۲/۹	۱۸/۱۴	۱۴/۰۷	۰/۱۴	۱۲/۴	۱۲/۰۲	۱۳/۴۴	۳۲/۹۷	۱۰/۱۶	
$Ar$	مساحت حوضه دربرگیرنده زهکش‌های فرعی (سمت راست) کیلومتر مربع	۶۲/۵	۲۵/۱	۱۷/۸	۳۱/۳	۴۲/۵	۲۵/۴	۱۱/۲	۱۹/۸	۳۰/۶	۲۴/۷	۳۰/۳۰	۲۴/۴
	مساحت حوضه دربرگیرنده زهکش‌های فرعی در سمت چپ کیلومتر مربع	۱۲۲/۶	۵۱/۶	۴۸/۳	۴۷/۳	۷۲/۴	۵۲/۷	۲۶/۶	۴۵/۱	۴۳/۳	۵۱/۲	۱۰۲/۶	۳۵/۱
$AL$	وسعت حوضه (کیلومتر مربع)	۶۰/۱	۲۶/۵	۳۰/۵	۱۶	۳۰/۹	۲۷/۳	۱۵/۴	۲۵/۳	۱۲/۷	۲۶/۵	۷۲/۳	۱۰/۷
$Af$	شاخص علم تقارن آبراهه‌ها (مترمربع)	۵۰/۹۷	۴۸/۶	۳۶/۸	۶۶/۱	۵۸/۷	۴۸/۲	۴۲/۱	۴۳/۹	۷۰/۷	۴۸/۲	۲۹/۵	۶۹/۵
$Da$	فاصله نوار مانداری فعال از خط میانی حوضه	۶/۴	۳/۸	۲/۴	۲/۶	۳/۵	۲/۲	۲/۴	۳/۱	۳/۱	۲/۳	۴/۳	۱/۶
$Dd$	فاصله خط میانی حوضه آبریز از خط مرز حوضه	۲/۵	۲/۳	۱/۴	۱/۲	۱/۳	۱/۷	۰/۹	۲/۲	۱/۱	۰/۸	۲/۷	۱/۱
$T$	شاخص تقارن توپوگرافی عرضی	۲/۵۶	۱/۶۵	۱/۷	۲/۱۶	۲/۷	۱/۳	۲/۷	۱/۴	۲/۸	۲/۹	۱/۶	۱/۴۵

## نتایج

مورفولوژی جبهه شمالی کوهستان الوند، تحت تأثیر تکنوتیک و شدت فعالیت عوامل مورفودینامیکی و میزان فرسایش، متحول و ناپایدار شده است. وجود شیب‌های فراوان از نوع (W.L.S) نه تنها موجب تحول دامنه‌ها گشته بلکه منجر به تشکیل فرایندهای میل‌یافتگی، عقب‌نشینی موازی، جانشینی و گردشگری گردیده است. از شواهد مورفودینامیک فعال منطقه که نشانه‌ای از تحول و پسروری جبهه شمالی الوند محسوب می‌شود. می‌توان به سطوح مثلی شکل وضعیت سینوسی جبهه شمالی الوند اشاره نمود (شکل ۱۰)

وضعیت سینوسی جبهه شمالی الوند که گاهی به شکل خطی و گاهی نیز در برخی مناطق منحنی - خطی است، بیانگر تحول و پسروری منطقه بوده که از فاصله‌بندی حوضه‌های زهکشی مجاور، زمان و پهنای محدوده متأثر شده است. محاسبه شاخص‌های مورفومتریکی بیانگر فعالیت مورفودینامیکی شدید، فرسایش‌پذیری قابل توجه، تحول و پسروری منطقه است مقدار  $smf=0.54$  که نزدیک به یک می‌باشد (شکل ۶)، همراه با مقدار  $L_F=32.3cm$  و  $L_S=48.2cm$  و  $Facet\% = \frac{32.3}{48.2} = 67\%$  به دست آمده که بالای ۵۰٪ است از شدت فعالیت عوامل مورفودینامیک و فرسایش در منطقه حکایت می‌کند (شکل ۷).

چنین استنباط می‌شود که بیشترین حالت فعال در منطقه، حالت جانشینی بوده که وجود واریزه‌های ثقلی و زمین‌های پوشیده از خرده سنگ‌ها و قطعه سنگ‌ها بر روی دامنه‌ها مؤید این مطلب است؛ در حالی که حالت عقب‌نشینی بیشتر موجب

تکامل مورفولوژی اولیه شده که از نتایج آن می‌توان به تشکیل پدیمت و مدفون شدن گسل‌ها و عدم تشخیص آنها در بررسی‌های میدانی اشاره نمود.

نتایج حاصل از مقادیر عددی شاخص گرادیان رودخانه (شکل ۸) با سنگ بستر نشان می‌دهد که مقادیر زیاد شاخص گرادیان رودخانه یا (SL) در سنگ‌های دارای مقاومت کم و یا در سنگ‌های با مقاومت یکسان که در زیر حوضه‌های ۳ و ۷ و ۸ و ۱۰ مشاهده می‌شود، از تخریب مکانیکی سنگ‌های گرانیتی به دلیل فراوانی شکاف‌ها و درزها و مقاومت مکانیکی کمتر و حساسیت بیشتر شیست‌ها به فرایند فرسایش پریگلایسر ناشی شده است. این امر موجب تفکیک زیرحوضه‌ها از لحاظ وضعیت مورفودینامیکی و تاثیر شیب، کاربری اراضی و تراکم زهکشی است.

مقدار (VF) یا شاخص نسبت پهنای دره عمق (شکل ۵) در مقایسه با مقدار گرادیان رودخانه (SL) بسیار کم بوده لیکن مقدار زیاد آن نسبت به یک، بیانگر تحول دره‌های V شکل منطقه و شدت فرسایش جانبی است. دره‌های زیر حوضه‌های ۳ و ۷ و ۸ و ۱۰ بیشترین مقدار (SL) را دارا هستند. شاخص نسبت مساحت دره در مقطع عرضی به مساحت نیم دایره به شعاع (ارتفاع دره) نیز مؤید این مطلب است که دره‌های (V) شکل منطقه در حال تحول هستند.

نتایج حاصله از تحلیل شاخص وسعت مخروط افکنه، بیانگر ناپایداری آنهاست و این موضوع با مقادیر عددی شاخص سینوسی جبهه کوهستان و نسبت پهنای دره به عمق نیز همخوانی دارد که بیانگر وجود مخروط افکنه‌هایی است که در جبهه شمالی توده الوند در اثر مورفودینامیک فعال تشکیل شده‌اند.

ارقام به دست آمده از شاخص عدم تقارن نشان می‌دهد که زیرحوضه‌های ۱ و ۲ و ۵ و ۶ و ۱۰ از لحاظ زهکشی متقارن می‌باشند. لیکن ارقام شاخص عدم تقارن آبراهه (AF) دارای مقدار کمتر از ۵۰ است که بیانگر وجود فرسایش کمتر در ساحل چپ آبراهه اصلی است. اما زیرحوضه‌های ۳ و ۷ و ۸ و ۱۱ از جمله زیرحوضه‌هایی هستند که فرسایش و فعالیت مورفودینامیک در ساحل چپ آنها بیشتر است. زیرحوضه‌های ۴ و ۵ و ۹ و ۱۲ با توجه به مقدار (AF) بیشتر دارای کج‌شدگی بر اثر فعالیت مورفودینامیک شدید در ساحل راست و بیانگر طول بیشتر زهکش‌های فرعی در این قسمت می‌باشند.

شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T) (شکل ۹ و ۱۰) وجود انحراف در همه زیرحوضه‌های مورد نظر از لحاظ توپوگرافی عرضی و عدم تقارن بین ساحل چپ و راست رودخانه اصلی را نشان می‌دهد. به طوری که انحراف زیاد از ۱ آنها شدت فعالیت مورفودینامیک را به اثبات می‌رساند. به طور کلی ارقام محاسباتی در رابطه با کلیه شاخص‌ها و همخوانی آنها با یکدیگر ثابت می‌کند که جبهه شمالی کوهستان الوند بر اثر فعالیت مورفودینامیک فعال و تحت تأثیر شدید پریگلایر فرسایش شدید در حال تحول و پسروی است.



شکل (۱۵) حالت جانشینی (کوه کلاه قاضی، ۲۹۰۰ متر)



شکل (۱۶) حالت عقب نشینی موازی (قله شاه نشین ۳۰۰۰ متر)

## منابع

- ۱- ایلدرمی، علیرضا (۱۳۷۴)، پژوهشی در فرایندهای فرسایشی و ممیزی مناطق آسیب‌پذیر حوضه قره‌چای همدان، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- ۲- بی‌نام (۱۳۸۱)، تحلیلی بر مورفودینامیک و پایداری دامنه‌های شمالی الوند، رساله دکتری، دانشگاه تبریز.
- ۳- ایلدرمی، علیرضا (۱۳۸۴)، تحلیل مورفومتری لغزش‌های سد اکباتان و برآورد رسوب آنها، طرح پژوهشی، دانشگاه ملایر.
- ۴- امینی‌زاده، محمدرضا (۱۳۷۷)، بررسی پایداری شیب‌ها و نحوه‌ی کنترل آنها در حوضه آبخیز سد جیرفت، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- ۵- بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۷۹)، بررسی نقش عوامل مورفودینامیک در ناپایداری دامنه‌های شمالی داغ (از اهر تا مشکین شهر)، رساله دکتری، دانشگاه تبریز.
- ۶- سلیمانی، شهریار (۱۳۷۸)، رهنمودهائی در شناسائی حرکات تکنوتیکی فعال و جوان، مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.



۷- کمک‌پناه، علی؛ منتظرالقائم، سعید (۱۳۷۱)، *روش‌های تحلیلی در ارزیابی پایداری شیب‌های طبیعی*، مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

۸- مجموعه مقالات دومین همایش ملی و رانش زمین و راه‌های مقابله با خطرات آن (۱۳۷۷)، مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

9- Allison. R.J. (1996), *Slope and Slope Process Progress on Physical Geomorphology*, Arnold. Vol. 20-453-465.

10- Anderon, M.G., and Rechards K. (1987), *Modeling Slope Stability the Complimentary Nature of Geotechnical and Geomorphological Approaches*, John Wiley and Sons Ltd. Pp. 1-9.

11- Baiker R. and Silver M.L. (1983), Three Dimensional Analysis of Slope Stability. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, V. 9, Pp. 199-223.

12- Feld, J. (1965), *The Factor of Safety in Soil and Rock Mechanics and Foundation Engineering*, Pp. 185-197.

13- Fredlund. D.G. (1987), *Slope Stability Analysis Incorporation the Effect of Soil Suction-Slope Stability*, John Wiley and Sons. Ltd. Pp. 113-141.

- 14- Fredland D.G. and Krahen J. (1977), Comparison of Slope Stability Methods of Analysis, *Canadian Geotechnical Journal*, V. 14.3. Pp. 429-439.
- 15- Fredlund D.G. (1984), Analytical Methods for Slope Analysis *International Symposium on Landslides*, Pp. 229-250.
- 16- Matsukura. Y. (1988), Cliff Instability on the Asama Deposits Due to Notch Formation on the Asama, *Mountain Slope-Gebruder Borntraeger*: Vol.2 129-141.

Archive of SID