

## بررسی نقش عوامل مورفودینامیک و اقلیمی مؤثر در پیدایش و تکوین جریان واریزه‌ای در زاگرس مرکزی

علیرضا ایلدرومی: دانشیار ژئومورفولوژی، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران  
حمید نوری\*: استادیار آب و هواشناسی، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

وصول: ۱۳۹۲/۱۱/۲۰ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۱۷، صص ۸۲-۶۱

### چکیده

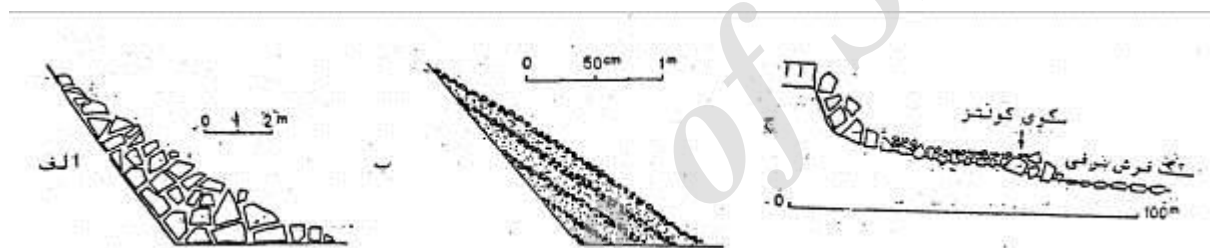
جریان واریزه‌ای یکی از مهم‌ترین فرآیندهای دامنه‌ای در جابه‌جایی مواد به‌شمار می‌آید که موجب شکل‌زایی و افزایش بار رسوبی رودخانه‌ها می‌شود. برای بررسی جریان واریزه‌ها در دامنه‌های شمالی الوند، واقع در زاگرس مرکزی، ۴۴ نمونه جریان واریزه‌ای انتخاب و با استفاده از عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی، بازدیدهای میدانی و نقشه‌برداری در محیط نرم‌افزار ArcGIS، مشخصات مورفومتری آنها شامل طول بخش معبر، ارتفاع جریان، عمق بخش معبر، عرض مخروط، شیب و ارتفاع اندازه‌گیری و سپس مقادیر حجم واریزه‌ها، عمق سایش و تخریب مواد دامنه‌ای محاسبه شد. با استفاده از داده‌های بارندگی، برف و دمای اندازه‌گیری شده در ۱۰ ایستگاه هواشناسی منطقه (۱۳۷۱ تا ۱۳۸۹)، نقش برخی از شاخص‌های اقلیمی مانند دما، باران و برف در ایجاد واریزه‌ها بررسی شد. نتایج نشان داد در بین عوامل مؤثر در تشکیل جریان واریزه‌ای در دامنه‌های شمالی الوند، ارتفاع و شیب بیشترین نقش را دارند. تمرکز واریزه‌ها از لحاظ فراوانی و گستردگی در ارتفاع بین ۲۷۰۰ تا ۳۰۰۰ متری، بیانگر نقش مهم عوامل لیتولوژی، تکتونیک و برف‌آب همراه با سیستم شکل‌زایی و فرسایشی جنب یخچالی در تشکیل و توسعه واریزه‌های منطقه است. نتایج بررسی نقش بارندگی بر اساس معادله کاین، بلیجنبرگ نشان داد بارندگی‌های ۱۵ تا ۱۰۵ دقیقه‌ای در برخی سال‌ها موجب حرکت واریزه‌ها بر روی دامنه‌ها و ورود آن به رودخانه‌ها و افزایش بار رسوبی آنها شده است.

واژه‌های کلیدی: جریان واریزه‌ای، مورفودینامیک، اقلیم، زاگرس مرکزی

## مقدمه

۱۳۸۱: ۸۹). واریزه‌های ثقلی بر روی دامنه‌های سنگی تشکیل قطعه و پاره‌سنگ‌ها را می‌دهد که بر اثر نیروی ثقل به سمت پایین‌دست، دامنه شیبی بین ۳۰ تا ۳۵ درجه را به‌وجود می‌آورد. واریزه‌های لایه - لایه یا آراسته در دامنه‌هایی با شیب ملایم و کمتر از شیب واریزه‌های ثقلی به‌وجود می‌آیند و بر اثر عمل یخ و مواد گلی یخ‌زده به سمت پایین‌دست حرکت می‌کنند؛ اما روانه قطعه‌سنگ‌ها بر سطح شیب‌های ضعیف با دخالت مواد گلی و همراه با قطعه‌سنگ‌های سطحی بر روی آن حرکت می‌کنند (شکل ۱) (ایلدرمی، ۱۳۸۱: ۸۹).

با تأثیر از تخریب مکانیکی در دیواره‌های سنگی، مخروط واریزه متناسب با ابعاد، وزن مخصوص و با متوسط شیب ۲۷ و ۳۷ درجه تشکیل می‌شود. این فرایند دامنه‌ای به شکل جریان واریزه‌ای است که موجب افزایش بار رسوبی رودخانه می‌شود (کمک‌پناه، ۱۳۷۱: ۳۱۲). واریزه‌ها بر حسب اندازه ذرات و مواد متشکله به صورت تخته‌سنگی، قلوه‌سنگی، ماسه‌ای و خاکی است؛ اما مهم‌ترین آنها که تبدیل به جریان واریزه‌ای می‌شوند، واریزه‌های ثقلی، لایه‌لایه و روانه قطعه‌سنگ‌هاست (ایلدرمی،



شکل ۱. انواع مختلف جریان واریزه‌های الف) جریان واریزه ثقلی ب) واریزه‌های لایه‌لایه

مواد جامد است که با سرعت یکسان حرکت می‌کنند (کاستا، ۱۹۸۸). شرایط اولیه برای جریان واریزه‌ای شامل وجود منبع رطوبت همراه با رسوبات تخریبی در دامنه‌های نسبتاً شیب‌دار است. اگرچه جریان‌های واریزه‌ای در طول کانال‌های زهکشی یا بر روی دامنه‌ها مستعد حرکت است، در سطوح مخروط آبرفتی نیز جریان می‌یابند (سلبای، ۱۹۹۳). ویژگی حرکت واریزه‌ها با افزوده شدن آب و واریزه از منابع در مسیرهای دیگر تغییر می‌کند؛ به طوری که بارش شدید در حدود ۱۰۷ میلی‌متر در ۲۴ ساعت در سال ۱۹۵۹ موجب حرکت واریزه‌ها در شمال سوئد شده است (بارچ، ۱۹۹۳). در جولای ۱۹۷۲ بارندگی

## ج) روانه قطعه‌سنگ‌ها

در بیشتر بررسی‌ها، حرکات توده‌ای سریع به علت ماهیت ناپیوسته مکانی و ناگهانی آنها در نواحی پریگلاسیر به دقت حرکت توده‌ای آرام مطالعه نشده‌اند. نتایج به دست آمده از پژوهشی در شمال سوئد نشان می‌دهد نقش حرکات توده‌ای سریع در برهنه‌شدگی ناهمواری‌ها با تأثیر از حرکات توده‌ای آرام به مراتب مهم‌تر است. جریان واریزه‌ای حد واسط زمین لغزه‌ها و سیلاب‌هاست و اندازه مواد آن از قطعه سنگ‌ها تا رس‌های مخلوط با مقدار زیادی آب متفاوت است؛ بنابراین، وزن رسوبات واریزه‌ای از ۹۰ - ۷۰ درصد در نوسان بوده و مخلوطی از آب و

آذربایجان، جنوب غرب هادی شهر با تأکید بر نقش گسل‌ها، حاکمیت سیستم فرسایش پریگلاسیر در تشکیل جریان‌های واریزه‌ای در منطقه و با استفاده از مورفومتری واریزه‌ها و بررسی آماری، مشخص و سپس راهکارهایی برای کنترل آنها ارائه شده است (عابدینی، ۱۳۸۸: ۱۹۴) در بررسی دیگری (خطی، ۱۳۸۶: ۱۵۷) نقش عوامل توپوگرافی و دینامیک رودخانه‌ای بر مخروط واریزه‌های دامنه‌های شمال غرب سبلان به‌خوبی مطالعه شده است. در این بررسی نقش آب و هوا، وضعیت زمین‌شناسی، اقلیم گذشته بررسی شده و با رگرسیون چندمتغیره عوامل مؤثر در جابه‌جایی واریزه‌ها بررسی شده است. مطالعات دیگری هم در خصوص شرایط مورفودینامیک و تأثیر پارامترهای اقلیمی نتایج مشابهی را به دست آوردند (شورت، ۲۰۱۳؛ تالر، ۲۰۱۰؛ پلاتر، ۲۰۱۱ و ادوارد، ۲۰۰۱).

در این پژوهش برای بررسی عوامل مؤثر در ایجاد جریان‌ات واریزه‌ای در دامنه‌های شمالی الوند، برخی ویژگی‌های منطقه از قبیل زمین‌شناسی، لیتولوژی، توپوگرافی و اقلیم (باران و برف، دما) تحلیل و نقشه‌های لازم ترسیم شد.

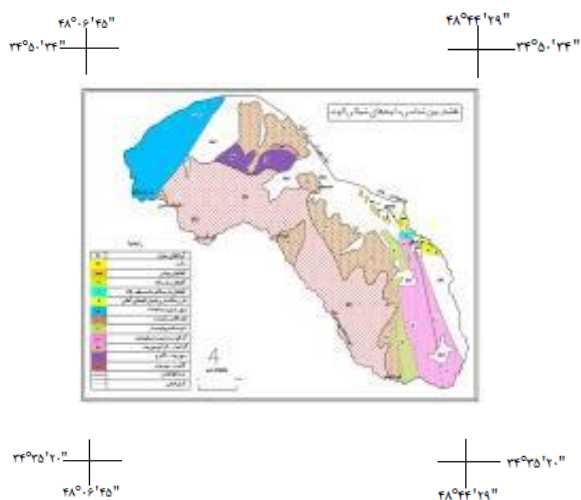
#### داده‌ها و روش‌شناسی

منطقه مورد مطالعه به مساحت ۲۷۴۵ کیلومتر مربع در محدوده  $48^{\circ} 6' 45''$  تا  $48^{\circ} 44' 29''$  طول شرقی و  $34^{\circ} 35' 20''$  تا  $34^{\circ} 50' 34''$  عرض شمالی در محدوده زاگرس مرکزی واقع شده است. (شکل ۲). سنگ‌های منطقه از نوع گرانیت نفوذی، شیل، اسلیت و شیست‌های دوره ژوراسیک است. شکل (۳) بر اساس آمار آب و هواشناسی ایستگاه گردنه اسدآباد (۸۶-

به‌میزان ۳۰ میلی‌متر در ۳۰ دقیقه بر روی شیب‌های ۲۰ - ۱۵ درجه در منطقه پاپلند<sup>۱</sup>، تقریباً باعث رسوب ۵۰ هزار مترمکعب واریزه در منطقه‌ای به وسعت ۱۱ کیلومتر مربع شد که معادل ۵ میلی‌متر فرسایش ناشی از جریان واریزه‌هاست (گودی، ۱۹۹۰). بیشتر جریان واریزه‌ای بر روی دامنه‌هایی آغاز می‌شوند که شبکه زهکشی متمرکز و بریدگی شیب آغاز می‌شود (کلارک، ۱۹۸۸). جریان واریزه‌ای می‌تواند از نواحی منبع تا کیلومترها جریان یابد، ولی در نواحی کم‌شیب متوقف می‌شود (ریتر، ۱۹۹۳). برای تحلیل فرآیند جریان واریزه‌ای بررسی مورفولوژی، رسوب‌شناسی و تهیه نقشه‌های مختلف، مشاهده و نمونه‌گیری از حرکات واریزه‌ها ضروری است (ریتر، ۱۹۹۳). در این راستا پژوهش‌های وسیعی را برخی از ژئومورفولوژیست‌ها برای تعیین حد آستانه حرکت و نقش عوامل محیطی از جمله ارتفاع، شیب و بارندگی انجام داده‌اند و مدل‌ها و معادلاتی نیز ارائه کرده‌اند (ریتر، ۱۹۹۳؛ گودی، ۱۹۹۰؛ اوین، ۱۹۹۰ و کلوز، ۱۹۹۱). در بیشتر بررسی‌های به عمل آمده عواملی چون بارندگی، برف، شیب، ارتفاع، لیتولوژی از مهم‌ترین عواملی بودند که موجب تشکیل و جریان واریزه‌ها در دامنه‌ها شده‌اند (هریس، ۱۹۹۳ و کلوز، ۱۹۹۱). جریان‌های واریزه‌ای حرکت توده‌ای مواد تخریبی بر اثر نیروی ثقل به سمت پایین دست دامنه و از لحاظ ویژگی‌های جریانی حد واسط لغزش و جریان سیلابی است و از جورشدگی بسیار ضعیف و نامنظم برخوردارند (خطی، ۱۳۷۹: ۱۷۰). در یک بررسی نقش و عوامل مؤثر بر پیدایش و تکوین جریان‌های واریزه‌ای در ارتفاعات شمال غرب

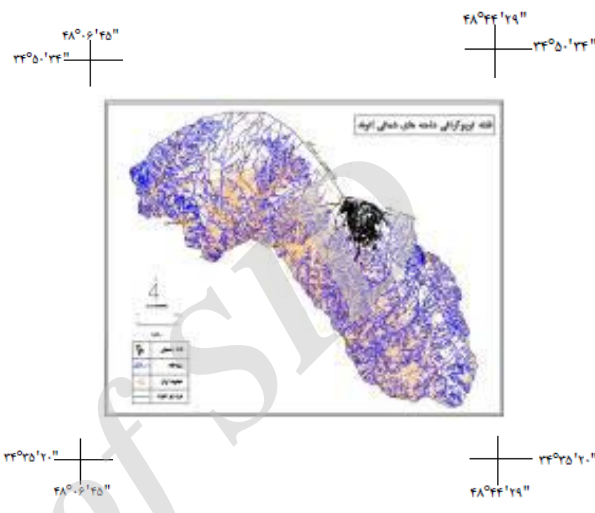
<sup>1</sup> Pupeland

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 نیمه‌مرطوب است (ایلدرمی، ۱۳۸۱).



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۱۳۷۶)، متوسط درجه حرارت سالانه منطقه  $10/7^{\circ}C$  است که در فصول زمستان و تابستان از  $1^{\circ}C$  تا  $34^{\circ}C$  تغییر می‌کند. سردترین ماه سال بهمن و گرم‌ترین آن مرداد است. میانگین بارش منطقه ۳۱۳/۸



شکل ۲. موقعیت جغرافیای منطقه

منطقه، عمق بخش معبر و شیب دامنه‌هایی که در روی آنها این پدیده فعال است، اندازه‌گیری و بررسی شده و بر اساس داده‌های به دست آمده از ارتباط شیب و عمق بخش معبر مدل زیر جهت برآورد عمق سایش طرح شده است. (سلبای، ۱۹۹۰).

$$D = XS + A \quad \text{معادله ۲}$$

که در آن:  $D$ ، عمق فرسایش در بخش معبر ( $m$ )،  $S$ ، شیب دامنه به درصد،  $A$ ، عمق بخش معبر است. برای بررسی میانگین بارش و محاسبه ضریب برف سالانه منطقه از میانگین بارش و دمای ایستگاه‌های خیرآباد، قهاوند، گنبد، آقاجان‌بلاغی، آق‌تپه همدان، بهادر بیگ، تویسرکان، سداکباتان، خنداب و فرودگاه همدان در دوره آماری ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۹ و ارتفاع ایستگاه‌ها از سطح دریا استفاده شد.

ابتدا با استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰/۰۰۰ و عملیات میدانی، ۴۴ واریزه در منطقه به روش تصادفی انتخاب و مکان‌یابی شد. برای برآورد حجم واریزه‌ها و تعیین مشخصات مورفومتری و جهت تعیین حرکت مواد واریزه‌ای از فرمول ریکن من<sup>۱</sup> (۱۹۹۳) استفاده شد (سلبای، ۱۹۹۳).

$$E = (100 - 2.5 \text{ sf})L \quad \text{معادله ۱}$$

در این رابطه:  $E$ ، حجم واریزه‌ها بر حسب ( $m^3$ )، ( $Sf$ )، شیب بخش مخروط به درصد،  $L$ ، طول بخش معبر بر حسب ( $m$ ) است.

برای تقسیم‌بندی جریانات واریزه‌ای بر اساس عمق و ارزیابی عمق فرسایش در جریانات واریزه‌ای

<sup>1</sup> Ricken man 1993

واریزه‌ها در سطوح دامنه‌ها بسیار ضعیف است. به طور کلی اگر:

شدت واقعی بارندگی < مقدار منتج از فرمول =  
احتمال جابه‌جایی واریزه‌ها توسط رگبارها (+)

شدت واقعی بارندگی > مقدار منتج از فرمول =  
عدم احتمال جابه‌جایی واریزه‌ها توسط رگبارها (-)

عمق فرسایش در جریانات واریزه‌ای شاخص مهمی در شناسایی ویژگی‌های این پدیده و تفکیک جریانات واریزه‌ای قدیمی از جریانات واریزه‌ای جوان محسوب می‌شود (یوشیدا، ۱۹۹۷). عمق بخش معبر حاکی از قدرت و قابلیت زیاد واریزه‌ها برای سایش دامنه‌های سنگی و در نهایت ایجاد معبرهای عمیق در سطوح آنهاست.

به طور کلی، در این پژوهش مشخصات واریزه‌ها از قبیل طول بخش معبر، ارتفاع جریان، عمق بخش معبر، عرض مخروط، شیب و ارتفاع آنها محاسبه و سپس نقش عوامل لیتولوژی، توپوگرافی، پوشش برفی و بارش، در خصوص تشکیل واریزه‌ها تجزیه و تحلیل و همبستگی آماری آنها نیز با استفاده از نرم‌افزارهای spss و Excel بررسی شد.

### نتایج و بحث

الف- ویژگی‌های عمومی جریان‌های واریزه‌ای در منطقه:

تشکیل و حرکت واریزه‌ها یکی از فرآیندهای مهم و غالب بر روی دامنه‌های شمالی الوند است که در ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر و اغلب بر روی سنگ‌های گرانیت و هورنفلس به وقوع می‌پیوندد (شکل ۴).

بر اساس مشاهدات صحرائی می‌توان بخش‌های

برای بررسی نقش بارندگی در جابه‌جایی واریزه‌ها، آستانه‌های مختلفی ارائه شده است (وان. آخ<sup>۱</sup> ۱۹۹۶- وان اشتاین<sup>۲</sup>، ۱۹۹۵). برای بررسی دقیق‌تر نحوه تأثیر بارندگی‌ها در وقوع جریانات واریزه‌ای از شدت و مدت بارندگی‌های ایستگاه سینوپتیک همدان (۱۳۷۱ تا ۱۳۸۹) استفاده شده است. برای ارزیابی توان رگبارها جهت جابه‌جایی واریزه‌ها از یکی از معادلات کاین<sup>۳</sup> استفاده شده که به صورت زیر است:

$$\text{Ircain} = 14.82 \text{ Tr} - 0.39 \quad \text{معادله ۳}$$

در این رابطه: Tr، طول مدت بارش (به ساعت) و Ir، شدت بارش (میلی‌متر در ساعت) است.

اگر شدت بارش محاسباتی از شدت واقعی بارندگی‌هایی که در منطقه رخ داده بیشتر باشد، احتمال وقوع جریانات واریزه‌ای و جابه‌جایی واریزه‌ها در منطقه بسیار ضعیف است.

شدت واقعی رگبارها < شدت بارش منتج از فرمول = جابه‌جایی واریزه‌ها توسط رگبارها

$$I > Ir = (+) \quad I > Ir = (-)$$

در همین رابطه فرمول‌های دیگری را نیز بلیجنبرگ (۱۹۹۸) ارائه کرده است که برای مقایسه نتایج نیز استفاده شده است:

$$\text{Ir cr} = 14.82 \text{ Tr} - 0.61 \quad \text{معادله ۴}$$

$$\text{Irinnes} = 4.9355 \text{ Tr} + 0.5041 \quad \text{معادله ۵}$$

که در این رابطه: Ir: شدت بحرانی بارندگی (میلی‌متر در ساعت)، Tr: مدت بارندگی (به ساعت) بر این اساس، اگر شدت بحرانی بارندگی از شدت واقعی بارندگی بیشتر باشد، احتمال جابه‌جایی

<sup>1</sup> Van Asch 1996

<sup>2</sup> Van Steijn 1995

<sup>3</sup> Caine 1980

رودخانه‌های منطقه می‌شود، قسمت مهمی از رسوبات رودخانه‌ای را تأمین می‌کند. اکثر واریزه‌های منطقه دارای طول بیشتری نسبت به پهنایشان و همچنین، جورشدگی بسیار ضعیف و با ابعاد و قطرهای بسیار مختلف هستند. بررسی شکل جریانات واریزه‌ای منطقه نشان می‌دهد:

الف- جریانات واریزه‌ای مجزا اغلب بر روی سنگ‌های گرانیتی و هورنفلسی تشکیل شده است و بیشتر در ارتفاعات ۲۷۰۰ متری دیده می‌شود.

ب- جریانات واریزه‌ای گسترده دارای محل مشخص و مجزا از لحاظ شروع نیست، اما نقطه شروع آنها به‌طور افقی در ارتفاعات بیش از ۳۰۰۰ متر گسترده شده است و اغلب بر روی سنگ‌های مقاوم تشکیل شده‌اند.



شکل ۵. نمونه‌ای از واریزه‌های گسترده در ارتفاع ۲۹۰۰ متر

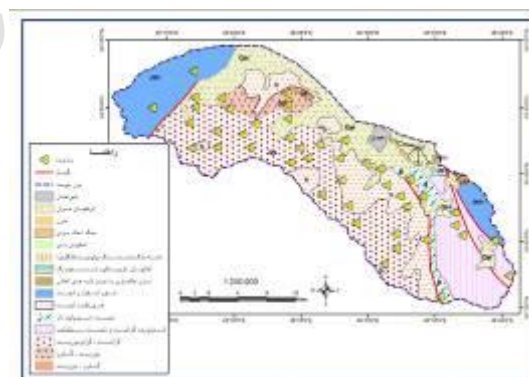
جهت‌ها و شیب‌های مختلف دارند، همراه با تغییر و نوسان درجه حرارت از مهم‌ترین دلایل این موضوع است. بررسی نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده (جدول ۱) نشان می‌دهد در آن دسته از جریانات واریزه‌ای که بخش معبر طولی دارند، حجم واریزه‌های انباشته‌شده زیادتر است.

کاملاً مشخصی را در واریزه‌ها تفکیک کرد:

۱- بخشی که حرکت و جابه‌جایی واریزه‌ها از آنجا شروع می‌شود، نسبتاً گود و دیواره آن تقریباً شیب‌دار و در ارتفاع بالاتر از ۲۵۰۰ متر واقع شده است.

۲- مسیر عبور واریزه‌ها به شکل معبر یا کانال پرشویی است که بر اثر جابه‌جایی مکرر واریزه‌ها بر روی دامنه‌های سنگی کنده شده است و از عمق و طول چندانی برخوردار نیست. در این معبر با توجه به لیتولوژی وسعت و حجم جریانات واریزه‌ای ارتباط مستقیمی با طول و عمق آنها دارد. اغلب جریانات واریزه‌ای بزرگ منطقه دارای بخش گذردهی یا معبر نسبتاً عمیق و عرض و طول زیادی هستند.

۳- بخش نهشته و یا مخروط واریزه که در انتهای بخش معبر جریانات واریزه‌ای قرار دارد و گاهی وارد



شکل ۴. موقعیت واریزه‌ها در دامنه‌های شمالی الوند

بر اساس مشاهدات میدانی دو دسته جریان واریزه‌ای شامل جریانات واریزه‌ای دره‌ای و دامنه‌ای در منطقه مشاهده می‌شود. جریانات واریزه‌ای دامنه‌ای به مراتب از تکرار و فراوانی بیشتری نسبت به جریانات دره‌ای برخوردار است. استقرار برف بر روی دامنه‌هایی که درز و شکاف‌های فراوان در

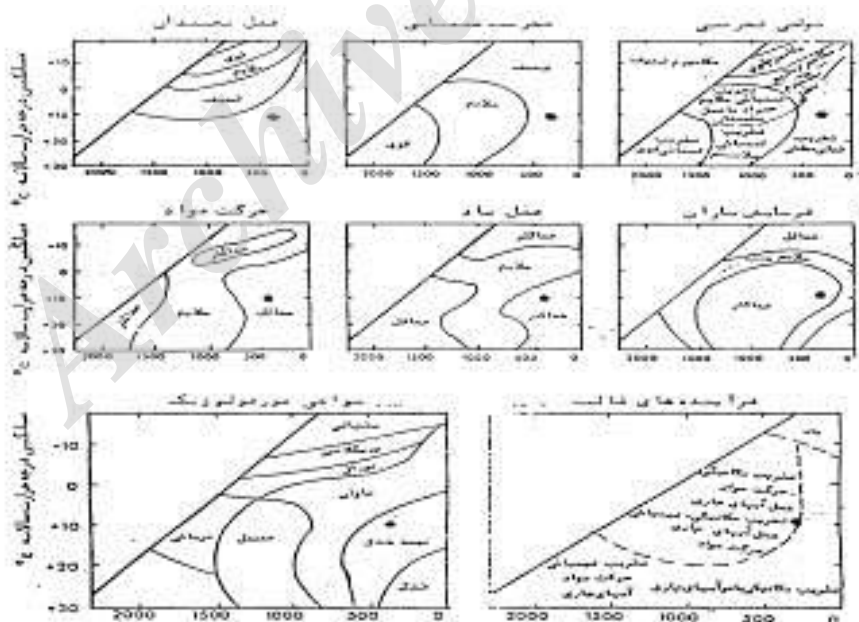
جدول ۱. مشخصات مورفومتری واریزه‌ها

شماره نمونه	طول بخش معبر (m)	ارتفاع جریان واریزه‌ای (m)	عمق بخش معبر (m)	عرض مخروط واریزه (m)	شیب دامنه (درصد) (SF)	ارتفاع واریزه‌ها (m)	حجم E/m <sup>3</sup>
۱	۱/۵	۶	۰/۸	۳	۲۵	۲۷۰۰	۳۶/۵۶
۲	۳	۷	۰/۶	۳	۲۰	۲۸۰۰	۵۸/۵
۳	۲/۵	۱۰	۰/۴	۴	۳۰	۲۸۰۰	۷۳
۴	۴	۱۲	۰/۳	۲	۲۰	۲۹۰۰	۷۸
۵	۱۰	۱۴	۰/۸	۳	۲۵	۲۷۰۰	۲۴۳/۷
۶	۲	۹	۱	۲/۵	۳۵	۲۶۰۰	۶۸/۲۵
۷	۳/۵	۱۱	۲	۴	۳۰	۲۵۰۰	۱۰۲/۳۷
۸	۵	۱۲	۰/۵	۲	۳۰	۲۸۰۰	۱۴۶/۲۵
۹	۴/۵	۱۶	۰/۴	۱/۵	۴۰	۳۰۰۰	۱۷۵/۵
۱۰	۱۱	۲۳	۰/۸۸	۲/۵	۳۵	۲۸۰۰	۳۷۵/۳۷
۱۱	۱/۵	۱۸	۰/۷	۳	۲۵	۲۸۰۰	۳۶/۵۶
۱۲	۲/۵	۱۰	۰/۴	۳	۴۰	۳۰۰۰	۹۷/۵
۱۳	۳	۹	۰/۳	۴	۴۵	۲۹۰۰	۱۳۱/۶۲
۱۴	۵	۱۱	۱/۵	۳/۵	۲۰	۲۷۰۰	۹۷/۵
۱۵	۸	۱۸	۱	۳	۲۵	۲۷۰۰	۱۹۵
۱۶	۱	۷	۰/۳	۱/۵	۳۵	۲۸۰۰	۳۴/۱۲
۱۷	۶	۸	۱	۲	۴۵	۲۸۰۰	۲۶۳/۲۵
۱۸	۴	۱۰	۱/۵	۱	۵۰	۲۹۰۰	۱۹۵
۱۹	۹	۱۷	۱	۱/۵	۳۵	۲۹۰۰	۳۰۷/۱۲
۲۰	۷	۱۵	۰/۳	۳	۴۰	۳۰۰۰	۲۷۳
۲۱	۴	۱۰	۰/۸	۳	۴۵	۳۰۰۰	۱۷۵/۵
۲۲	۱۰	۱۴	۰/۵	۲/۵	۵۵	۳۰۰۰	۵۳۶/۲۵
۲۳	۱۲	۲۰	۰/۶	۴	۲۵	۲۸۰۰	۲۹۲/۵
۲۴	۸	۱۸	۰/۳	۴/۵	۳۰	۲۶۰۰	۲۳۴
۲۵	۱۴	۱۲	۰/۵	۳	۳۵	۲۷۰۰	۴۷۷/۷۵
۲۶	۱۰/۵	۱۳	۱/۵	۱/۵	۴۰	۲۸۰۰	۴۰۹/۵
۲۷	۳	۱۶	۱	۲	۲۵	۲۸۰۰	۷۳/۱۲
۲۸	۱۳	۲۴	۰/۷	۳/۵	۲۵	۲۷۰۰	۳۱۶/۸۷
۲۹	۸	۳	۰/۵	۴	۳۰	۲۸۰۰	۲۳۴
۳۰	۹	۴	۰/۳۰	۳	۳۰	۲۷۰۰	۲۶۳/۲۵
۳۱	۱۱	۷	۰/۴۵	۵	۴۰	۲۸۰۰	۴۲۹
۳۲	۶	۱۱	۰/۵۵	۶	۴۵	۲۹۰۰	۲۶۳/۲۵
۳۳	۵	۱۲	۰/۸	۲/۵	۴۵	۲۹۰۰	۲۱۹/۳
۳۴	۱۳	۹	۰/۸	۳/۵	۳۵	۲۸۰۰	۴۴۳/۶
۳۵	۱۲	۶	۰/۷	۴/۵	۳۵	۲۴۰۰	۴۰۹/۵
۳۶	۸	۷	۰/۶	۳	۲۵	۲۶۰۰	۱۹۵
۳۷	۹	۷	۰/۸	۱	۲۵	۲۷۰۰	۲۱۹/۴
۳۸	۳	۸	۱	۳	۴۰	۳۰۰۰	۱۱۷
۳۹	۲	۹	۰/۹	۳	۵۰	۳۰۰۰	۹۷/۵
۴۰	۵	۱۰	۱	۲	۵۵	۳۰۰۰	۲۶۸/۱۳
۴۱	۴	۱۱	۱/۵	۴	۴۰	۲۹۰۰	۱۵۶
۴۲	۸	۱۲	۰/۹	۲/۵	۴۵	۲۹۰۰	۳۵۱
۴۳	۱۰	۱۰	۰/۸	۲	۳۰	۲۸۰۰	۲۹۲/۵
۴۴	۱۲	۹	۱	۳	۳۵	۲۹۰۰	۴۰۹/۵

ب- داده‌های اقلیمی مؤثر در تشکیل واریزه‌ها

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده از ایستگاه‌های هواشناسی موجود در عرصه مورد مطالعه، متوسط بارندگی سالانه ۳۱۳/۸ میلی‌متر است. بارندگی‌های عمده منطقه در فصل زمستان ۴۲٪ و بهار ۳۲٪ رخ می‌دهد و پرباران‌ترین ماه سال اسفند با ۵۳ میلی‌متر است. منطقه با توجه به کوهستانی بودن دارای رژیم بارش به صورت برف، گاهی تگرگ و باران است. وجود ذخایر برفی همراه با کاهش دما و تداوم آن برای ۶ ماه از سال (اواخر پاییز تا اواخر بهار) به دلیل ارتفاع زیاد، سیستم مورفونژ پریگلاسیر را در این قسمت حاکم ساخته است. ماه بهمن با درجه حرارت متوسط ۲/۱۷، سردترین و تیرماه با ۲۲/۴ درجه سانتیگراد گرم‌ترین ماه‌های سال هستند. حداقل دمای ثبت شده ۳۰- درجه مربوط به بهمن‌ماه سال ۱۳۵۱ و

حداکثر آن ۳۹ درجه مربوط به تیرماه سال ۱۳۷۶ است. مجموع روزهای یخبندان در طول سال ۸۴ روز است که از اواخر آبان شروع می‌شود و تا اواسط فروردین ادامه دارد. بر اساس سیستم طبقه‌بندی بیوکلیماتیک آمبرژه، منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد با تابستان‌های خشک و زمستان‌های سرد و طولانی و در سیستم طبقه‌بندی دومارتن منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است. با استفاده از دیاگرام‌های پلیتر<sup>۱</sup> و با توجه به تعداد روزهای یخبندان در طی سال، متوسط درجه حرارت در طی روز و سال، میزان و رژیم بارندگی و وجود مکانیسم شدید تخریب فیزیکی، حرکت مواد، وجود واریزه‌ها و برونزدگی‌های سنگی فراوان، حاکمیت سیستم فرسایشی پریگلاسیر تأیید می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶. دیاگرام‌های پلیتر به منظور نشان دادن فرآیندهای مسلط مورفونژیکی بر پایه میانگین بارش سالانه و دما تعمیم یافته است. خط ممتد برای ارتفاعات پایین‌تر از ۱۸۰۰ متر، خط منقطع برای ارتفاعات بالاتر از ۲۷۰۰ متر (سلبای، ۱۹۹۳؛ ایلدرمی، ۱۳۸۱)

<sup>1</sup> L.C.Pe lit



$$T_{min} = 36/9 - 3/2 \% S/P \quad \text{معادله ۷}$$

که در آن S/P درصد نسبت بارش برف به کل ریزش‌های جوی و  $T_{min}$  متوسط درجه حرارت حداقل محیط است.

بر این اساس، آذر، دی، بهمن، اسفند و اردیبهشت و گاهی نیز آبان دارای بارش برف هستند. بر اساس فرض ۱/۵ درجه سانتیگراد متوسط زمان شروع بارش برف در همدان، ۳۰ نوامبر (۹ آذر) و خاتمه آن ۱۳ مارس (۲۲ اسفند) و متوسط آن ۱۰۳ روز محاسبه شده است که از ۶۸ روز بین سال‌های (۷۰-۱۳۶۹) تا ۱۸۵ روز تا (۸۱-۱۳۸۰) فرق می‌کند. بر اساس فرض ۱/۵ درجه برای بارش برف در منطقه مورد مطالعه متوسط زمان بارش برف در ارتفاعات بیش از ۳۰۰۰ متر الوند، در اواخر مهرماه شروع شده است و در طی ماه‌های دی و بهمن کل منطقه تحت پوشش برف قرار می‌گیرد. با شروع دوره گرما خط بارش برف در منطقه عقب می‌نشیند و در ماه‌های فروردین و اردیبهشت دوباره به ارتفاع ۳۰۰۰ متر می‌رسد؛ بنابراین، دمای منطقه در بیشتر ایام سال زیر ده درجه است و از فرآیند برفسبب تأثیر می‌گیرد. بر اساس بررسی‌های صحرائی به عمل آمده مشاهده می‌شود که در تشکیل واریزه‌های منطقه، استقرار برف نقش اولیه و آغازین را به عهده دارد (جدول ۲)، به طوری که بر اثر خیس شدن مواد سست دامنه‌ای توسط آب حاصل از ذوب برف، دیواره دامنه‌ها گسیخته شده و مواد حاصل از این فرآیند به صورت واریزه‌های بزرگ شکل گرفته است. به طور متوسط میزان S/P% با در نظر گرفتن حداقل درجه حرارت منطقه یعنی ۲/۶۱ درجه سانتیگراد، برابر با ۲۹/۷٪

پدیده نیواسیون یا برفسبب<sup>۱</sup> (استقرار تکه‌های برفی در بیشتر ایام سال) با توجه به ارتفاع زیاد منطقه یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تشکیل توسعه واریزه‌ها محسوب می‌شود. به منظور شناسایی مناطق تحت تأثیر فرآیند برفسبب از خطوط همدمای صفر درجه در ماه‌های سرد سال استفاده شده است؛ به طوری که با افزایش متوسط دمای روزانه در طی زمان، قلمرو فرآیند برفسبب محدودتر می‌شود و تأثیر آن در ارتباط با عامل ارتفاع تغییر می‌کند. بررسی آماری بارش برف در منطقه نشان می‌دهد که در طی پاییز و زمستان سال‌های ۸۱-۱۳۸۰، ۴۰ مورد بارش برف ثبت شده که در ۳۹ مورد آن درجه حرارت هوا زیر صفر درجه (۹۷/۵ درصد) و تنها در یک مورد آن هم در اواخر اسفندماه، دمای هوا بالای صفر بوده است (۱/۶ درصد). پس با فرض خط همدمای صفر درجه می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که خط همدمای صفر درجه، همان مرز و قلمرو محدوده برف در منطقه باشد؛ اما با توجه به گرادیان ارتفاعی دما این مقدار را می‌توان تا ۱/۵ درجه سانتیگراد به عنوان مبنا تغییر داد. متوسط سالانه بارش برف در ایستگاه همدان ۱۹۳/۹ سانتی‌متر بوده که طی سالیان مختلف از ۵۷/۳ سانتی‌متر در سال ۱۳۸۰ تا ۳۳۶/۸ سانتی‌متر در سال ۱۳۸۸ متفاوت بوده است. در مقیاس ماهانه بیشترین مقدار بارش برف در ماه دی با متوسط ارتفاع ۵۷/۴ سانتی‌متر است. به منظور بررسی و محاسبه درصد برفگیری برای ماه‌های سرد در منطقه که آمار ندارند، از معادلات زیر استفاده شده است:

$$T_{min} = 48/2 - 7/1 \% S/P \quad \text{معادله ۶}$$

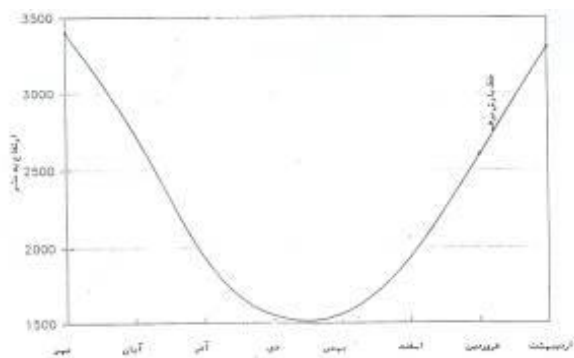
<sup>1</sup> Nivation

چنانکه ملاحظه می‌شود در طول ماه‌های سال درصد برفگیری منطقه با افزایش ارتفاع به شدت افزایش یافته است، به طوری که از ارتفاع ۲۷۰۰ متر به بالا این موضوع به خوبی مشاهده می‌شود. این در حالی است که تعداد جریان‌ات واریزه‌ای نیز از این ارتفاع به بالا افزایش می‌یابد.

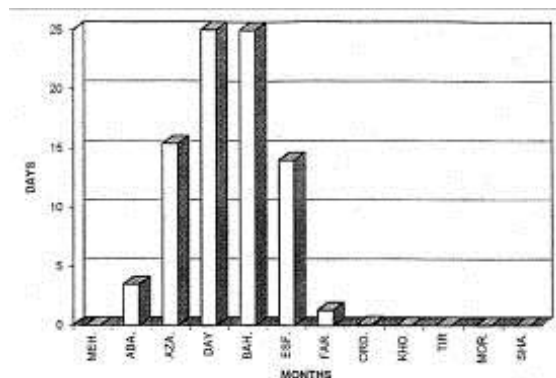
برای ماه‌های خیلی سرد و به‌طور معمول برابر با ۲۸/۵٪ (تقریباً ۳۰ درصد ریزش‌های جوی در فاصله ۱۰۳ روز به‌صورت برف) است. جدول (۲) درصد برفگیری منطقه را در ماه‌های مختلف و در ارتفاعات مختلف نشان می‌دهد که گویای شدت عملکرد و استقرار برف به‌ویژه بر روی دامنه‌های منطقه است.

جدول ۲. درصد برفگیری در ماه‌های مختلف در ارتفاعات مختلف الوند

ماه	ارتفاع (متر)	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت
	۱۷۰۰	۱۱/۴	۳۳/۳	۵۴/۹	۱۰۰	۱۰۰	۵۰/۸	۲۵/۷	۲/۳
	۱۸۰۰	۱۳/۵	۳۴/۳	۵۷/۷	۱۰۰	۱۰۰	۵۴/۷	۲۹/۱	۹/۶
	۱۹۰۰	۱۵/۶	۳۵/۴	۶۰/۵	۱۰۰	۱۰۰	۸۵/۵	۳۲/۵	۱۲
	۲۰۰۰	۱۷/۷	۳۶/۴	۶۳/۳	۱۰۰	۱۰۰	۶۲/۳	۳۵/۹	۱۴/۳
	۲۱۰۰	۱۹/۸	۳۷/۵	۶۶/۱	۱۰۰	۱۰۰	۶۶/۲	۳۹/۳	۱۶/۷
	۲۲۰۰	۲۱/۹	۳۸/۵	۶۸/۹	۱۰۰	۱۰۰	۷۰	۴۲/۸	۱۹
	۲۳۰۰	۲۴	۳۹/۵	۷۱/۷	۱۰۰	۱۰۰	۷۳	۴۶/۲	۲۱/۴
	۲۴۰۰	۲۶/۱	۴۰/۶	۷۴/۴	۱۰۰	۱۰۰	۷۷	۴۹/۶	۲۳/۷
	۲۵۰۰	۲۵/۳	۴۱/۷	۷۷/۲	۱۰۰	۱۰۰	۸۱	۵۳	۲۶/۱
	۲۶۰۰	۳۰/۴	۴۲/۸	۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۵	۵۶/۴	۲۸/۵
	۲۷۰۰	۳۲/۵	۴۳/۸	۸۲/۸	۱۰۰	۱۰۰	۸۹	۵۹/۸	۳۰/۸
	۲۸۰۰	۳۴/۶	۴۴/۹	۸۵/۶	۱۰۰	۱۰۰	۹۳	۶۳/۲	۳۳/۲
	۲۹۰۰	۳۶/۷	۴۵/۹	۸۸/۴	۱۰۰	۱۰۰	۹۶/۹	۶۶/۶	۳۵/۵
	۳۰۰۰	۳۸/۸	۴۷	۹۱/۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۰	۳۷/۹
	۳۱۰۰	۴۰/۹	۴۸	۹۳/۹	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۳/۴	۴۰/۲
	۳۲۰۰	۴۳	۴۹/۱	۹۶/۷	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۶/۸	۴۲/۲
	۳۳۰۰	۴۵/۲	۵۰/۱	۹۹/۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۰/۲	۴۴/۹
	۳۴۰۰	۴۷/۸	۵۱/۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۲/۷	۴۷
	۳۵۰۰	۴۹/۹	۵۲/۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۴/۹	۴۹/۲



شکل ۸. متوسط خط بارش برف در ارتفاعات مختلف توده الوند



شکل ۷. نمودار تعداد روزهای یخبندان در ماه‌های مختلف سال (در منطقه مورد مطالعه)

ارائه شده) با شدت بارندگی‌های اندازه‌گیری شده در ساعات مختلف (از ۱۵ دقیقه تا ۲۴۰ دقیقه) مقایسه شد (جدول ۴). بررسی‌ها نشان می‌دهد معادله “Ircain” و “Ircr” تماماً منفی بوده و شدت بارندگی واقعی از شدت بارندگی محاسباتی کمتر است. این موضوع بیانگر این نکته است که بارندگی‌های به وقوع پیوسته قادر به حرکت واریزه‌ها نبوده‌اند؛ اما ارقام محاسباتی از معادله “Irinees” در خصوص شدت بارندگی‌های ۱۵ تا ۱۰۵ دقیقه در برخی از سال‌ها موجب حرکت واریزه‌ها شده است (جدول ۳).

بنابراین حضور واریزه‌ها در دیواره دامنه‌ها و در جهت مشخصی به‌ویژه دامنه‌های پشت به آفتاب، فرض و احتمال دخالت برف و آب ناشی از ذوب آن را در تشکیل واریزه‌های منطقه تقویت می‌کند؛ به طوری که محل جریانات واریزه‌ای در مکان‌های برفگیر به‌ویژه با استقرار طولانی مدت برف مشاهده می‌شود.

به‌منظور بررسی تأثیر بارش و تعیین شدت بارندگی‌های به وقوع پیوسته در حرکت واریزه‌ها، ابتدا ارقام محاسباتی (حاصله با استفاده از فرمول‌های

جدول ۳. احتمال وقوع جریانات واریزه‌ای بر اساس شدت بارندگی در روش‌های مختلف

روش	مدت (دقیقه)															
	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰	۱۹۵	۲۱۰	۲۲۵	۲۴۰
<b>Ircain</b>	۲۵/۴۴	۱۹/۴۳	۱۶/۵۷	۱۴/۸۲	۱۳/۵۸	۱۲/۶۵	۱۱/۹۱	۱۱/۳	۱۰/۸	۱/۳۶	۹/۹۸	۹/۶۵	۹/۳۶	۹/۰۹	۸/۸۵	۸/۶
<b>Ircr</b>	۳۴/۵۲	۲۲/۶۲	۱۷/۷	۱۴/۸۲	۱۲/۹	۱۱/۵۷	۱۰/۵۳	۹/۷	۹/۰۳	۸/۵	۷/۹۹	۷/۵۸	۷/۲۲	۶/۹	۶/۶۲	۶/۴
<b>Irinees</b>	۲/۴۵	۳/۴۸	۴/۲۶	۴/۹۳	۵/۵۲	۶/۰۵	۶/۵۴	۶/۹۹	۷/۴۲	۷/۸	۸/۲	۸/۵۸	۸/۹	۹/۲۸	۹/۶	۹/۹

جدول ۴. شدت بارندگی‌های ۱۵ تا ۲۴۰ دقیقه ایستگاه همدان

شدت بارندگی به دقیقه بر حسب mm/hr																تاریخ و وقوع رگبارهای مهم‌تر
240	225	210	195	180	165	150	135	120	105	90	75	60	45	30	15	
5/6	5/7	5/8	6	6/1	6/3	6/5	6/7	7	7/3	7/7	8/2	8/8	9/8	11/1	14	۷۶/۱۰/۲
-	-	-	-	-	-	-	4/2	4/3	4/4	4/5	4/7	4/8	5/1	5/5	6/2	۷۸/۸/۱۷
-	-	-	-	-	-	-	-	-	5/4	5/6	5/9	6/3	6/8	7/6	9/3	۷۹/۱/۷
2/7	2/7	2/8	2/9	3	3/1	3/2	3/4	3/5	3/7	3/9	4/1	4/5	5	5/8	7/4	۷۹/۱/۱۳
-	-	-	-	-	-	-	-	4/5	4/7	5	5/3	5/8	6/4	7/4	9/5	۸۱/۱۲/۱۹
4/8	5	5/1	5/2	5/6	5/8	6	6/3	6/6	7	7/4	8	8/8	9/8	11/6	15/1	۸۱/۱۱/۱۳
4/4	4/5	4/6	4/7	4/8	4/9	5	5/1	5/3	5/5	5/7	6	6/4	6/9	7/7	9/3	۸۱/۱۲/۱۷
4/6	4/7	4/8	4/9	5	5/2	5/3	5/5	5/7	6	6/3	6/6	7/1	7/8	8/8	11	۸۲/۱۱/۱۱
4/3	4/4	4/5	4/6	4/8	4/9	5/1	5/3	5/5	5/8	6/1	6/6	7/1	7/8	9	11/4	۸۳/۸/۱۵
-	-	-	1/9	2	2/6	2/5	2/7	3	3/4	4	4/7	5/8	7/6	11/2	20/9	۸۴/۱/۲۵
-	-	-	-	-	-	-	2/7	3	3/3	3/6	4/1	4/9	6	8	12/3	۸۵/۱/۲۱
3/3	3/4	3/5	3/6	3/7	3/9	4	4/3	4/5	4/7	5	5/5	6	6/8	8	10/7	۸۶/۱/۱۶
2/3	24	2/5	2/6	2/7	2/9	3	3/3	3/5	3/9	4/3	4/8	5/5	6/7	8/6	13/5	۸۶/۲/۸
-	2	-	-	-	-	-	-	-	4/7	5/1	5/6	6/3	7/3	9/1	13/3	۸۶/۲/۳۰
3/1	2	3/3	2/4	3/5	3/6	3/7	3/8	4	4/2	4/4	4/7	5/1	5/6	6/5	8/3	۸۸/۸/۱۷
3/1	3/1	3/2	3/3	3/4	3/4	3/5	3/6	3/7	3/9	4	3/4	4/5	4/8	5/2	6/1	۸۹/۱/۵
1/9	2	2/1	2/2	2/3	2/4	2/6	2/7	2/9	3/1	3/5	3/8	3/4	5/1	6/5	9/6	۸۹/۲/۲

## ج- نقش ویژگی‌های سنگ‌شناختی و زمین‌ساخت

منطقه بیشتر بر روی سنگ‌های گرانیتی، هورنفلس و شیست تشکیل شده است و دارای گسترش قابل ملاحظه‌ای هستند. در بعضی از مکان‌ها به دلیل شرایط مناسب توپوگرافی، طول و عرض و عمق قابل ملاحظه‌ای دارد و در مقابل در برخی از مناطق عرصه این مواد به شدت از فرآیند حمل توسط عملکرد برف و آب‌های سطحی تأثیر گرفته است و عمق کم و

در منطقه مواد تقریباً دانه‌درشتی به شکل واریزه تشکیل شده که بر اساس جنس زمین‌شناسی هر محل، اندازه و نوع مواد آنها تغییر می‌کند، به طوری که در دامنه‌های شیستی اغلب اندازه دانه‌ها تا حدودی همسان و بر اساس آرایش کانی‌ها بیشتر به صورت ورقه‌ای یا عدسی‌شکل است. به طور کلی، واریزه‌های

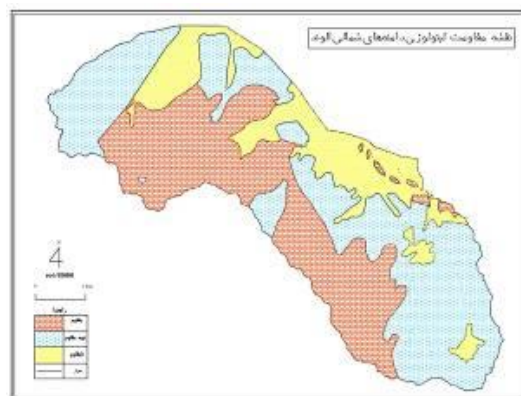
گسل بین تشکیلات هورنفلس و شیست تأثیر بسزایی در ورود و جریان آب داشته و این فرآیند موجب افزایش تخریب هورنفلس‌ها در منطقه شده است؛ بنابراین، با توجه ویژگی‌های ذکرشده سنگ‌های برون‌زده منطقه در سه طبقه مقاوم، نیمه‌مقاوم و نامقاوم تقسیم می‌شود (شکل ۹).

بررسی‌های صحرایی و کانی‌شناسی انجام‌شده از گرانیت‌ها نشان‌دهنده وجود کوارتز، فلدسپات (پلاژیوکلاز)، بیوتیت (میکا) با درصد‌های متفاوت و وجود گرانیت‌های مختلف با مقاومت‌های متفاوت شده است؛ بنابراین در تخریب گرانیت‌های منطقه عواملی چون، بافت و درصد بالای پلاژیوکلازها و بیوتیت‌ها و همگن نبودن آنها مؤثر بوده است. به‌منظور بررسی دقیق و بیشتر از وضعیت آنها از مقاطع میکروسکوپی موجود برای آنالیز کانی‌شناسی استفاده شده است (شکل ۱۰ و ۱۱).

گسترش محدودی دارد. محدوده مورد بررسی قسمتی از زون سنندج - سیرجان است که به‌وسیله گسل‌های بزرگ و کوچک شکسته شده است. روند اکثر آنها تا حدودی موازی با امتداد راندگی زاگرس و متأثر از فرآیندهای تکتونیک منطقه ایران مرکزی است. محدوده مورد مطالعه متشکل از سنگ‌های آذرین نفوذی با تیپ‌های مختلف گرانیتی شامل گرانیت میکادار، گرانیت زیر کن‌دار است. سنگ‌های گرانیتی به‌دلیل فراوانی بیوتیت‌ها (میکا) و پلاژیوکلاز، کمی نسبی کوارتز و دانه‌درشت و همگن نبودن، همراه با آب فراوان و یخبندان به‌شدت در حال تخریب فیزیکی و شیمیایی هستند و حاصل آن تشکیل و تجمع فراوان خرده‌سنگ‌ها در منطقه است. شیست به‌دلیل شیستوارگی، وضعیت لایه‌ها و نفوذ آب در داخل آنها، ذوب و انجماد یخ در داخل این لایه‌ها به‌شدت تخریب شده است. گسل‌های موجود به‌ویژه



شکل ۱۰. مقطع میکروسکوپی از توده گرانیت الوند بافت درشت بلور میکروکلین با بافت مشبک در کنار کوارتز، مسکوویت در کنار کانی‌های بیوتیت و مسکوویت در آپلیت‌های نفوذی منطقه



شکل ۹. نقشه مقاومت لیتولوژی منطقه

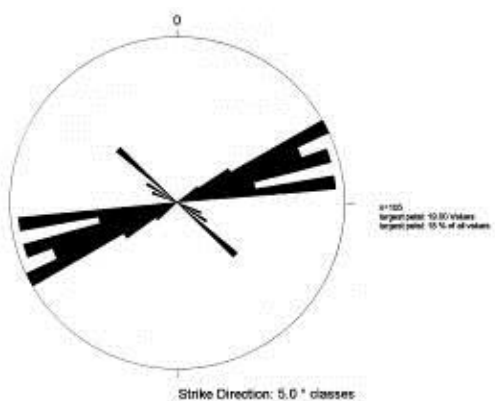
میدانی از درزه‌ها در هورنفلس‌ها دیده می‌شود که تعداد و تراکم آنها بیشتر از گرانیته‌ها بوده و این امر سبب خردشدن بیشتر هورنفلس‌های منطقه شده است. از آنجا که گرانیته‌ها به صورت نفوذی در منطقه شکل گرفته‌اند، سیستم درزه‌ها و شکستگی‌های آن به صورت شعاعی است و این مسئله نشان‌دهنده جهت‌های متفاوت درزه‌ها در آنهاست. وجه تشابه گرانیته‌ها و هورنفلس مقاومت آنهاست و این امر سبب شده تا تحت تأثیر فازهای کوهزایی شکستگی‌های عمیقی در آنها به وجود آید که در تشکیل واریزه‌ها نقش مهمی به عهده داشته است.

نتایج بررسی‌های صحرایی از گسل‌ها، بیانگر وجود گسلی با امتداد ۱ کیلومتر از شمال‌غرب به جنوب شرق منطقه است که گروه قابل توجهی نیز از درزه‌ها و شکاف‌های منطقه را هم‌جهت با امتداد گسل مذکور موجب شده و واریزه‌های منطقه نیز در امتداد آن شکل گرفته است. عرض درزه‌های موجود در حد میلی‌متر تا حداکثر ۵۰ سانتی‌متر (شکاف) است، اما اکثر درزه‌ها دارای عرضی معادل ۵ میلی‌متر تا ۲۰ سانتی‌متر هستند. درزه‌های مذکور حاصل نیروهای تکتونیکی است که حداقل بر اساس تفسیر رزدياگرام‌های ترسیمي دو تأثیر تکتونیکی مهم در منطقه را به اثبات می‌رساند؛ اول اینکه شکاف‌ها و درزه‌ها از نظر تعداد فراوانی در سنگ‌های گرانیته‌ای و هورنفلس‌ها با توزیع و پراکنش واریزه‌های موجود همخوانی دارد، دوم اینکه منطقه گرانیته‌ها و هورنفلس‌ها با بیشترین تعداد واریزه‌ها از مهم‌ترین مناطق تشکیل و توسعه واریزه‌ها محسوب می‌شود؛ به طوری که امتداد تشکیل واریزه‌ها با امتداد درزه‌های اندازه‌گیری شده به‌طور قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر انطباق دارند (شکل ۱۲ و ۱۳). همچنین، بررسی

از ویژگی‌های مقاطع مذکور، وجود کانی‌های اصلی کوارتز (۲۰ درصد)، فلدسپات (۵۰ درصد) پلاژیوکلاز (۲۰ درصد) است که بر اثر تجزیه به کائولونیت تبدیل می‌شوند، همچنان که ملاحظه می‌شود گراندیوریت‌های دارای بلورهای درشت با بافت مشبک همراه با کانی‌های بیوتیت است که این امر بر اثر سیستم فرسایشی پریگلاسیر به شدت تخریب و تجزیه می‌شوند. بر اساس اطلاعات کانی‌شناسی، هورنفلس‌های منطقه عمدتاً از نوع آندالوزیت کردیریت هورنفلس است که علاوه بر بلورهای درشت کردیریت، بلورهای آندالوزیت نیز گاه تا طول ۳۵ سانتی‌متر در آن دیده می‌شود. اندازه کردیریت‌ها نیز درشت است و تا ۲ سانتی‌متر می‌رسد. آنچه که از بررسی‌های کانی‌شناسی حاصل می‌شود این است که هورنفلس‌های منطقه در درجه حرارت‌های متفاوت به وجود آمده‌اند. به طوری که کردیریت هورنفلس در دمای بالا تشکیل شده، بنابراین از مقاومت بیشتری برخوردار است. هورنفلس‌های آندالوزیت‌دار در درجه حرارت پایین تشکیل یافته‌اند، از این رو از مقاومت کمتری برخوردارند و این امر موجب تخریب شدید آنها و تولید مواد واریزه‌ای فراوان شده است.

به منظور تجزیه و تحلیل نقش درزه‌های گرانیته‌ها و هورنفلس‌های منطقه، در تشکیل واریزه‌ها، بیش از ۵۰ نمونه اندازه‌گیری صورت گرفته که نتایج حاصله به‌صورت رزدياگرام‌ها تهیه و نشان داده شده است (شکل ۱۲ و ۱۳). همچنان که ملاحظه می‌شود میزان درزه‌ها در سنگ‌های گرانیته‌ای و هورنفلس دو جهت غالب شمال‌غرب - جنوب شرقی و شرقی - غربی را نشان می‌دهد. با بررسی‌های صحرایی و مشاهدات

مواد دانه‌ریز به مقدار کمی در آنها مشاهده می‌شود؛ در حالی که بر روی گرانیت‌ها حجم واریزه‌های انباشته‌شده قابل ملاحظه است و در زیر مواد درشت، مواد دانه‌ریزی از جنس ماسه‌ها مشاهده می‌شود. این مسئله بیانگر حساسیت بیشتر گرانیت‌ها تحت حاکمیت سیستم فرسایشی پریگلاسیر است.



شکل ۱۳. امتداد درزه‌های اندازه‌گیری شده در هورنفلس‌های واقع در گنج‌نامه و کوه‌حیدره

بهادریبگ، تویسرکان، سداکباتان، خنداب و فرودگاه همدان در دوره شاخص آماری و ارتفاع ایستگاه‌ها از سطح دریا استفاده و معادله گردادیان بارش و دما تهیه شد که در بهترین حالت معادله تغییرات بارندگی و دمای سالانه چنین به دست آمده است.

$$P=0/143 H+335/31 \quad \text{معادله ۸}$$

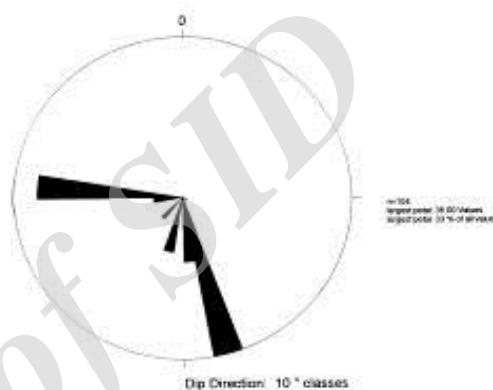
$$r=0/79 \quad n=10$$

$$T=\text{mean}-0/0025 H+6/86 \quad \text{معادله ۹}$$

$$r=0/57 \quad n=10$$

گردادیان محیط طبیعی منطقه (جدول ۵) نشان می‌دهد از ارتفاع ۲۷۰۰ متر به بالا، ریزش‌های برفی،

پراکنش جریان واریزه‌ها نشان می‌دهد این فرآیند عمدتاً بر روی دامنه‌هایی گرانیتی و هورنفلس و تا حدودی شیست‌ها فعال است. از طرف دیگر، شکل، اندازه و حجم واریزه‌ها با توجه به اختلاف در لیتولوژی بسیار متفاوت است. برای مثال بر روی شیست‌ها تعداد جریانات واریزه‌ای کم و با حجم کمتر و ماتریسی از



شکل ۱۲. رزدیگرام<sup>۱</sup> درزه‌های اندازه‌گیری شده در هورنفلس‌های واقع در گنج‌نامه و کوه‌حیدره

#### د- نقش توپوگرافی

نتایج نشان داد در بین عوامل مؤثر در تشکیل واریزه‌ها نقش ارتفاع اهمیت بیشتری دارد. با توجه به نحوه پراکنش واریزه‌ها می‌توان گفت در ارتفاع بالای ۲۷۰۰ تا ۳۰۰۰ متری از تراکم و حجم بیشتری برخوردار است.

با توجه به اینکه ضریب برفی و گردادیان دما در شکل‌گیری و توسعه جریانات واریزه‌ای نقش مهمی ایفا می‌کنند، گردادیان‌های دما و بارش بررسی شده است. برای بررسی میانگین بارش و محاسبه ضریب برفی سالانه منطقه از میانگین بارش ایستگاه‌های خیرآباد، قهاوند، گنبد، آقاجان‌بلاغی، آق‌تپه همدان،

<sup>1</sup> Rose diagram

بیشتر از پوشش ممتد برف در تخریب سنگ‌ها نقش ایفا می‌کند.

ب) در ارتفاعات و مناطق کوهستانی پشت به آفتاب به‌ویژه از ارتفاع ۲۵۰۰ متر به بالا، به‌دلیل کاهش نوسانات شدید شبانه‌روزی دما بر روی پهنه‌های سنگ‌های حساسی نظیر گرانیت، هورنفلس، شیست می‌توان تعداد زیادی از جریانات واریزه‌ای را مشاهده کرد.

ج) با توجه به برهنه‌بودن سنگ‌های منطقه و نبود پوشش گیاهی در ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ متری و نبودن سازندهای سطحی محافظ روی آنها احتمال تخریب سنگ‌ها و تشکیل جریانات واریزه‌ای افزایش می‌یابد.

روزهای پوشش برفی؛ رواناب حاصل از ذوب برف‌ها، یخ برف افزایش یافته است و با توجه به نبود پوشش گیاهی در ارتفاعات، میزان فرسایش و تخریب سنگ‌ها به شکل واریزه‌ها زیاد می‌شود. دلایل این مسئله را می‌توان به شرح ذیل ارائه کرد:

الف) در ارتفاع بالاتر از ۲۷۰۰ متر، تکه‌های برفی، به شکل یخ‌برف به‌عنوان عامل تأمین‌کننده رطوبت در منطقه هستند. این شرایط رطوبتی همراه با شرایط حرارتی در فرآیند تخریب مکانیکی سنگ‌ها به‌ویژه در بخش‌های پناهگاهی تا اواخر تیرماه تداوم دارد. در بخش‌های پناهگاهی، پوشش منقطع و منفرد برف

#### جدول ۵. وضعیت گردایان محیط طبیعی منطقه

وضعیت	رابطه تغییرات	تغییرات در رابطه با ارتفاع
۰ تا ۳۵۸۴ متر	+	گردایان ارتفاعی
از ۰ تا ۱۰۰٪	+	گردایان درصد شیب
به‌طور متوسط ۰/۶ تا ۱ درجه سانتیگراد در ۱۰۰ متر (میانگین ۰/۹۷۶)	-	گردایان درجه حرارت
از ارتفاع ۲۷۰۰ متری به ازای هر ۱۰۰ متر ارتفاع ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر در نوسان است (به‌طور متوسط ۲۶/۶ میلی‌متر)	+	گردایان بارندگی، تغییرات ریزش‌های سالانه در هر ۱۰۰ متر
-	-	گردایان سرعت باد
بر حسب ارتفاع متغیر است.	+	گردایان روزهای آفتابی
بر حسب ارتفاع افزایش می‌یابد.	+	گردایان ریزش‌های برفی
۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر در هر ۱۰۰ متر	+	افزایش کلی سالانه ریزش برفی
از ارتفاع ۲۷۰۰ متر تقریباً ۱۶۰ روز در سال	+	ایام روزهای پوشش برفی
از ارتفاع ۲۷۰۰ متر به بالا	+	جریان آب‌ها و یخ برف

#### جدول ۶. اشکوب‌های مورفوزن منطقه

ژئوسیستم	مورفوزن	اشکال	ارتفاع (m)	اشکوب‌های مورفوزن
سیستم فرسایش پریگلاسیر	ریزش سنگ‌ها، هوازگی مکانیکی شدید	برون‌زدگی سنگی واریزه‌ها، یخ‌برف و پوشش برفی فراوان	۳۰۰۰ تا ۳۵۸۴	کوهستان مرتفع منطقه (۱)
محل تظاهرات سیستم فرسایش پریگلاسیر	یخ‌زدگی و ذوب یخبندان نیواسیون	وجود واریزه‌ها و نهشته‌های دامنه‌ای	۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰	دامنه‌های نسبتاً مرتفع منطقه (۲)
پدوژن نیمه‌فعال	جریانات رودخانه‌ای فعال	به‌صورت فلات	کمتر از ۲۵۰۰	دامنه‌های کم‌ارتفاع منطقه (۳)





شکل ۱۵. جریان واریزه‌ها و بر روی گرانیت‌ها و نقش برف در حرکت آن (ارتفاع ۳۲۰۰ متری قله الوند)

ضریب همبستگی بین حجم واریزه و طول بخش معبر، حجم واریزه با ارتفاع جریان واریزه و حجم واریزه با عمق واریزه، نشان‌دهنده روابط نزدیک بین شاخص‌های عمق، ارتفاع و طول بخش معبر واریزه‌هاست. همچنین، ضریب همبستگی بین ارتفاع و شیب دامنه، عرض مخروط و طول بخش معبر قابل قبول است و این موضوع بیانگر نقش ارتفاع، شیب دامنه در تشکیل و توسعه طولی واریزه‌های منطقه است (جدول ۷ و ۸).

بررسی‌ها نشان می‌دهد بین افزایش عمق و طول بخش معبر با افزایش ارتفاع و حجم جریانات واریزه‌ای رابطه تنگاتنگ و معنادار با ضریب همبستگی بالا وجود دارد. بدین معنی که با عبور جریان‌های واریزه‌ای طول و عمق بخش معبر افزایش یافته است. بین افزایش شیب محل تشکیل واریزه‌ها و حجم آنها رابطه منفی و معکوس وجود دارد، چرا که با افزایش شیب، ضخامت جریانات واریزه‌ای کمتر شده است. با افزایش ارتفاع، ضریب برفی منطقه نیز افزایش یافته است و با وجود محل‌های بادپناهی و شرایط مساعد



شکل ۱۴. جریان واریزه‌ای دامنه‌ای بر روی دامنه‌های شمالی الوند از نوع شیست (ارتفاع ۲۷۰۰ متر)

در ارتفاع بیشتر از ۲۷۰۰ متر تکه‌های برفی و گاه یخ‌برف به‌عنوان یکی از عوامل تأمین‌کننده رطوبت برای تخریب مکانیکی سنگ‌ها محسوب می‌شود و در دامنه‌های پشت به آفتاب افت دما و نوسانات شدید دما از ارتفاع ۲۵۰۰ متر تا ۳۵۸۴ متری تشدید می‌شود. با توجه به این موضوع و حساسیت سنگ‌ها، ارتفاعات بالا تعداد جریانات واریزه‌ای قابل توجه است (جدول ۶). همچنین، از ارتفاع ۲۷۰۰ متری به بالا، دامنه‌های سنگی بدون هیچ محافظی (خاک و پوشش گیاهی) تخریب و تشکیل جریانات واریزه‌ای فراوانی را داده است. با وجود اینکه باید با افزایش ارتفاع به دلیل تغییر شیب و عدم استقرار پوشش برفی، جریان واریزه‌ای کاهش یابد، لیکن با توجه به مورفولوژی باتولیت الوند ملاحظه می‌شود که با افزایش ارتفاع به‌ویژه در ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ متری به دلیل کاهش شیب نسبت به ارتفاع موجب افزایش این واریزه‌ها گشته است. باتولیت گنبدی‌شکل الوند همراه با افزایش ارتفاع نقش مهمی در تشکیل و جریان واریزه‌ای در منطقه دارند (جدول ۶).

عمق بخش معبر زیاد می‌شود، بخش مقطع عرضی که به‌طور بالقوه سطح هوازگی محسوب می‌شود و وسیع‌تر می‌شود و در نتیجه بر میزان وایزه‌هایی که در اختیار مخروط قرار می‌گیرد، افزوده می‌شود. بیشترین همبستگی بین ارتفاع و شیب دامنه، طول، بخش معبر، عرض مخروط و عمق بخش معبر است.

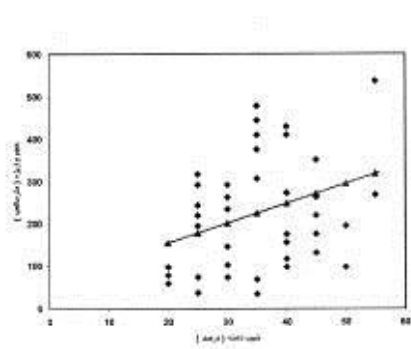
هوازگی میزان وایزه‌هایی که در اختیار مخروط آن قرار می‌گیرند، نیز افزایش یافته است. رابطه حجم وایزه‌ها و عمق آنها به میزان  $R=0/89$  بیانگر ارتباط قابل توجه بین آنهاست. بررسی آماری بین ارتفاع با شیب دامنه‌ها، عرض مخروط، طول بخش معبر و عمق بخش معبر معنادار و قابل قبول است؛ چرا که هرچه

جدول ۷. مشخصات روابط همبستگی متغیرها

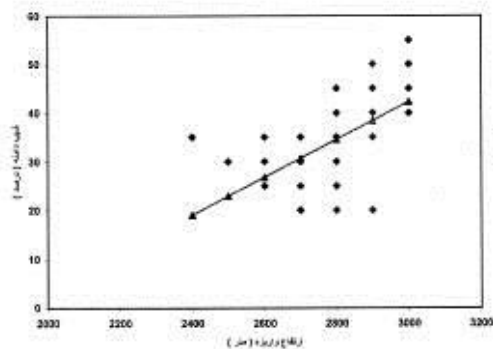
متغیر تابع	متغیر مستقل	ضریب همبستگی R	Sig F	F	ضریب متغیر مستقل	مقدار ثابت	متغیرهای خارج شده از همبستگی
عمق بخش معبر	شیب دامنه	۰/۰۷۱۶۵	۰/۶۴۲۹	۰/۲۱۶۷۲	۰/۰۰۱۹۵۰	۰/۶۷۳۹۰۸	-
حجم وایزه	شیب دامنه	۰/۳۲۹۸۱	۰/۰۲۸۱	۵/۱۲۶۰۳	۴/۶۶۲۸۵۳	۶۱/۶۸۴۳۲۵	-
حجم وایزه	عرض مخروط وایزه	۰/۰۹۷۷۵	۰/۵۲۷۹	۰/۴۰۵۱۸	۱۲/۲۱۷۳۶۰	۱۸۸/۵۳۵۲۴۰	طول، ارتفاع، جریان، عمق
حجم وایزه	طول بخش معبر	۰/۸۹۳۶۶	۰/۰۰۰	۸۱/۲۹۸۱۸	عرض ۳/۵۶۱۶۰۶ طول ۳۱/۷۳۷۱۵۳	۲۳/۰۹۵۰۶۲	ارتفاع، جریان، عمق
حجم وایزه	ارتفاع، جریان وایزه	۰/۸۹۳۶۶	۰/۰۰۰	۵۴/۴۸۸۱۹	عرض ۴/۴۳۸۰۶۷ طول ۳۲/۳۹۸۵۱ ارتفاع ۲/۰۲۴۷۶۶ عرض ۴/۰۴۶۰۶۷	۴۴/۴۹۴۹۸۹	عمق
حجم وایزه	عمق وایزه	۰/۸۹۶۵۶	۰/۰۰۰	۳۹/۹۵۰۷۶	طول ۳۲/۴۴۵۶۵ ارتفاع ۲/۰۵۴۰۱۲ عمق ۷/۱۵۳۹۶۲	۳۷/۸۰۶۴۹۴	-

جدول ۸. مشخصات روابط همبستگی متغیرها

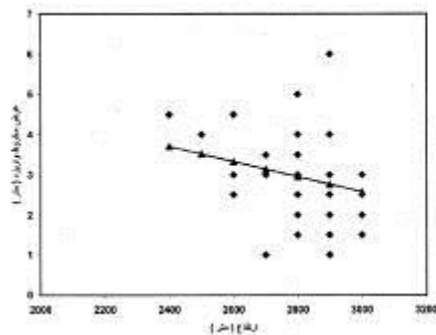
متغیر تابع	متغیر مستقل	ضریب همبستگی R	Sig F	F	ضریب متغیر مستقل	مقدار ثابت
شیب دامنه	ارتفاع	۰/۵۸۱۲۴	۰/۰۰	۲۱/۴۲۸۹۷	۰/۰۳۸۵۸۸	-۷۳/۵۱۱۱۴۶
عرض مخروط وایزه	ارتفاع	۰/۲۵۲۳۳	۰/۰۹۸۴	۲/۸۵۵۹۲	-۰/۰۰۱۸۹۵	۸/۲۵۴۷۷۷
طول بخش معبر	ارتفاع	۰/۲۶۲۶۴	۰/۰۸۵۰	۳/۱۱۱۸۶	-۰/۰۰۶۹۶۹	۲۶/۲۴۷۶۱۱
عمق بخش معبر	ارتفاع	۰/۱۵۶۲۵	۰/۳۱۱۱	۱/۰۵۱۰۲	$10^{-4} * ۴/۲۷۰۷۰$	۱/۹۷۶۴۹۷
ارتفاع جریان وایزه	ارتفاع	۰/۰۷۰۵۵	۰/۶۴۹۱	۰/۲۱۰۱۰	۰/۰۰۲۳۴۶	۴/۸۸۶۹۴۳



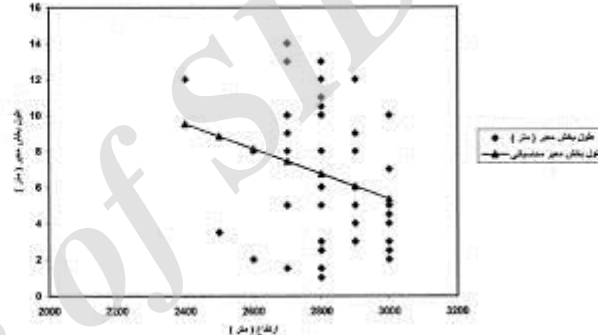
نمودار ۲. رابطه همبستگی حجم واریزه با شیب دامنه



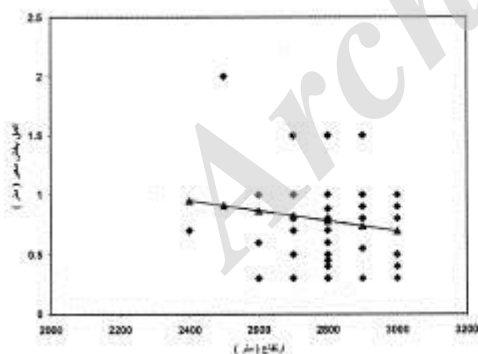
نمودار ۱. رابطه همبستگی شیب دامنه با ارتفاع واریزه‌ها



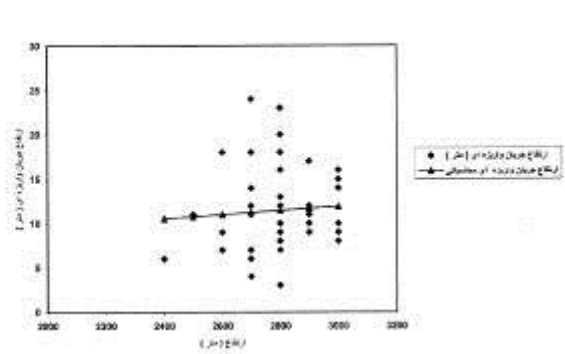
نمودار ۴. رابطه همبستگی عرض مخروط با ارتفاع واریزه‌ها



نمودار ۳. رابطه همبستگی طول بخش معبر با ارتفاع واریزه‌ها



نمودار ۶. رابطه همبستگی عمق بخش معبر با ارتفاع واریزه‌ها



نمودار ۵. رابطه همبستگی عمق بخش معبر با شیب دامنه در واریزه‌ها

بر روی سنگ‌های گرانیتی و هورنفلس تشکیل می‌شوند. از مشخصات مهم این واریزه‌ها، جورشدگی بسیار ضعیف و با ابعاد و قطرهای مختلف است.

### نتیجه‌گیری

جریان واریزه‌ای یکی از فرآیندهای مهم و غالب در دامنه‌های شمالی الوند محسوب می‌شود که عموماً

۱۹۹۰ و کلوز<sup>۲</sup> ۱۹۹۰ کاملاً همخوانی دارد. ضرایب همبستگی بین حجم واریزه‌ها، طول بخش معبر و ارتفاع جریان واریزه‌ها گویای روابط نزدیک بین شاخص‌های عمق، ارتفاع و طول بخش معبر واریزه‌هاست و نقش ارتفاع و شیب را در تشکیل و توسعه طولی واریزه‌ها به اثبات می‌رساند.

بررسی حاصل از تحلیل‌های آماری واریزه‌ها نشان‌دهنده رابطه عمق و طول بخش معبر با افزایش ارتفاع به شکل معنادار و با همبستگی بالاست. این موضوع نشان‌دهنده نقش عامل توپوگرافی به‌ویژه ارتفاع در منطقه است. در حالی که شیب به‌عنوان عاملی محدودکننده در تشکیل و توسعه واریزه‌ها در منطقه محسوب می‌شود. مسلماً با افزایش ارتفاع، همراه با افزایش ضریب برفی منطقه، حجم و مقدار واریزه‌ها و مخروط آنها افزایش یافته است. نتایج حاصل از گرادیان محیطی منطقه نشان‌دهنده همخوانی بسیار بالایی است که گرادیان‌های محیطی منطقه با محیط تشکیل واریزه‌ها به‌ویژه از ارتفاع ۲۷۰۰ متر به بالا دارند.

معرهای عمیق که محل مناسبی برای تجمع برف و تداوم آنها هستند، بیشترین نقش را در بزرگ‌شدن مخروط‌های واریزه‌ای ایفا می‌کنند، به همین دلیل، بزرگ‌ترین مخروط‌های واریزه‌ای منطقه در پای معبرهای بسیار عمیق همراه با برف تشکیل شده‌اند. جریان‌ات واریزه‌ای با وجود اینکه در منطقه به فراوانی و با وسعت‌های قابل ملاحظه تشکیل شده‌اند، خود به عنوان یک پدیده ژئومورفولوژیکی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم باعث بروز تغییرات عمده در سایر

بیشتر جریان واریزه‌ای منطقه از نوع گسترده است، جریان‌ات واریزه‌ای مجزا نیز مشاهده می‌شود که بیشتر آنها در ارتفاع بین ۲۷۰۰ تا ۳۰۰۰ متر متمرکز شده و نقش لیتولوژی همراه با تعداد فراوانی درزه‌ها و امتداد در تولید آنها بسیار مؤثر بوده است. نتایج حاصل از بررسی مدل عمق معبر حاکی از قدرت و قابلیت زیاد واریزه‌ها برای سایش دامنه‌های سنگی و در نهایت ایجاد معبرهای عمیق در سطوح آنهاست. بررسی‌ها نشان می‌دهد پوشش برفی و رواناب ناشی از ذوب برف، سطح دامنه‌ها را فرسایش داده و با گذشت زمان معبرهای عمیقی در سطوح آنها ایجاد کرده است. همچنین، شکل، اندازه و حجم واریزه‌ها یکسان نیست، به طوری که بر روی شیب‌ها جریان واریزه‌ای کم با حجم کمتر و ماتریسی از مواد دانه‌ریزتر دیده می‌شود، در حالی که بر روی گرانیته‌ها حجم مواد انباشته شده، قابل ملاحظه است. توپوگرافی و ارتفاع همراه با افزایش ضریب برفی، حاکمیت سیستم فرسایشی پریگلاسیر به‌ویژه در ارتفاع ۲۷۰۰ تا ۳۰۰۰ متر موجب افزایش تعداد و فراوانی تشکیل واریزه‌ها شده است. نتایج حاصله از بررسی نقش بارندگی در جابه‌جایی واریزه‌ها و محاسبه آستانه آن نشان می‌دهد که شدت بارندگی واقعی کمتر از شدت بارندگی محاسباتی بوده است و این موضوع بیانگر این نکته است که بارندگی‌های به وقوع پیوسته قادر به حرکت واریزه‌ها نبوده‌اند؛ اما ارقام محاسباتی در خصوص شدت بارندگی ۱۵ تا ۱۰۵ دقیقه در برخی از سال‌ها در منطقه موجب حرکت واریزه‌ها شده است و این موضوع با نتایج حاصله از بررسی‌های هریس<sup>۱</sup>

<sup>2</sup> Clawes

<sup>1</sup> Harris

- بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۴۷۶ ص.
- Barsch, D. 1993, periglacial Geomorphology in the 21<sup>st</sup> century, *Geomorphology*, v: 7 (141 – 163)
- Clark, M. j. 1988. *Advances in periglacial Geomorphology*, John Wiley & Sons. V: 4. 101-141.
- Clawes, A. and Com fort, P. 1991. *process and land form*, 2<sup>nd</sup> edn. Landon Longman. (154-176).
- Edward Derbyshire, 2001, *Geological hazards in loess terrain, with particular reference to the loess regions of China*, *Earth-Science Reviews*, Volume 54, Issues 1–3, June 2001, Pages 231-260 Evin, M. and Fabre, D. 1990. *the Distribution of permafrost in Rock Glaciers of the southern ALPS (France)*. *Geomorphology*, v: 3 (57 – 71).
- Goudie, A. Anderson, M. Burt, t. lewin, j. Richards, k. whalley, B. Worsley, p. 1990. *Geomorphology Techniques*. 2<sup>nd</sup> end. London: Hymam (106-159).
- Harris, c. Gallop, M. and Coutand, j. p. 1993. *physical modeling of Galiflvction and Frost creep. processes and land forms*, v: 18 N: 5 (101-198).
- McBride, R.A., Anderson, J.B., Buynevich, I.V., Cleary, W., Fenster, M.S., FitzGerald, D.M., Harris, M.S., Hein, C.J., Klein, A.H.F. Liu, B. de Menezes, J.T. M. Pejrup, S.R. Riggs, A.D. Short, G.W. Stone, D.J. Wallace, P. Wang, 2013, *Morphodynamics of Barrier Systems: A Synthesis, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, from Treatise on Geomorphology, Volume 10, 2013, Pages 166-244*
- Plater, A.J. Kirby, J.R., 2011, *Sea-Level Change and Coastal Geomorphologic Response, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, from Treatise on Estuarine and Coastal Science, Volume 3, 2011, Pages 39-72,*
- Ritier, D. f. Kochel, R. c. and Miller, j. r. 1993. *process Geomorphology*. third edition. V: 7 (322-454).
- پدیده‌های ژئومورفیک و هیدرولوژیک منطقه می‌شوند که مهم‌ترین آنها تولید و افزایش بار رسوبی رودخانه‌های منطقه است.
- منابع**
- ایلدرمی، علیرضا، (۱۳۸۱). *تحلیلی بر مورفودینامیک و پایداری دامنه‌های شمالی الوند، رساله دکتری، دانشگاه تبریز، ۴۸۰ ص.*
- ایلدرمی، علیرضا، (۱۳۷۸). *پژوهشی در فرآیندهای فرسایشی و ممیزی مناطق آسیب‌پذیر حوضه قره‌چای، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۴۰۲ ص.*
- امینی‌زاده، محمدرضا، (۱۳۷۷). *بررسی پایداری شیب‌ها و نحوه کنترل آنها در حوضه آبخیز سد جیرفت، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۲۵۸ ص.*
- بیاتی خطیبی، مریم، (۱۳۷۹). *بررسی نقش عوامل مورفودینامیک در ناپایداری دامنه‌های شمالی داغ از اهر تا مشکین‌شهر، رساله دکتری، دانشگاه تبریز، ۲۷۰ ص.*
- بیاتی، خطیبی مریم، (۱۳۸۶). *تحلیل و بررسی عوامل توپوگرافی و دینامیک رودخانه‌ای بر اندازه مخروط‌های واریزه‌ای مطالعه موردی دامنه‌های شمال غربی سبلان، پژوهش‌های جغرافیایی (۱۷۵-۱۵۷)، ش ۳۴.*
- سلیمانی، شهریار، (۱۳۷۸). *رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکنوتیکی فعال و جوان، مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۵۸۱ ص.*
- عابدینی، موسی، (۱۳۸۷). *بررسی نقش عوامل مؤثر در پیدایش و تکوین جریانات واریزه‌ای ارتفاعات شمال غرب آذربایجان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۴.*
- کمک‌پناه، علی، منتظرالقائم، سعید، (۱۳۷۱). *روش‌های تحلیلی در ارزیابی پایداری شیب‌های طبیعی مؤسسه*

from Treatise on Geomorphology, Volume 10, 2013, Pages 106-129

Theler, D., Reynard, E., Lambiel, C., Bardou, E., 2010, The contribution of geomorphological mapping to sediment transfer evaluation in small alpine catchments, *Geomorphology*, Volume 124, Issues 3-4, 15 December 2010, Pages 113-123.

Selby, M. J and Hodder, A. p. w. 1993. *Hillslope Materials and processes*. 2<sup>nd</sup> end. new yrk oxford. (201-298).

Sellby, M. J., 1985, *Erths changing surface* oxford: 302.

Short, A.D., Jackson, D.W.T., 2013, *Beach Morphodynamics, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*,

Archive of SID