

بررسی اثر ویژگی‌های مورفومتری در پراکنش سطوح واریزهای (مطالعه موردی: ناهمواری آتسگاه در جنوب شهرستان پاوه، استان کرمانشاه)

محمد احمدی* - استادیار ژئومورفولوژی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان،
تحقیقات و آموزش کشاورزی، کرمانشاه، ایران

وصول: ۱۳۹۶/۰۵/۱۰ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۳

چکیده

واریزها شواهدی از رفتار سنگ‌ها در مقابل نوسانات دما و رطوبت هستند. تغییرپذیری مکانی سطوح واریزه ممکن است، با ویژگی‌های مورفومتری بیشتر شود. هدف از این پژوهش تعیین سهم عوامل محیطی در پراکنش سطوح واریزهای است. در ابتدا در جنوب شهرستان پاوه، ۴۱۹ سطح واریزهای با روش طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر سنجش از دور شناسایی شدند. در بررسی اثر عوامل محیطی روی پراکنش واریزه، پارامترهای شیب، جهت دامنه، انحناء، طبقات ارتفاعی و تابش خورشیدی با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و توابع تحلیل مکانی آرک جی.آی.اس. استخراج شدند. عامل شیب در پنج طبقه، جهت دامنه در هشت طبقه، تابش خورشیدی در پنج طبقه و انحنای زمین، طبقه‌بندی شدند. خصوصیات این پارامترها به محدوده‌های واریزهای و غیر واریزهای تخصیص یافت. برای مناطق غیر واریزهای نقاطی به صورت تصادفی انتخاب شدند. ویژگی‌های مورفولوژیک آنها محاسبه برای اطمینان از نرمال بودن داده آزمون کلموگرف - اسمیرنف اجرا شد. داده مکان‌های غیر واریزه در سطح اطمینان $(p\text{-value} > 0/15)$ نرمال تشخیص داده شدند. داده‌های واریزه نیز پس از انجام تبدیل باکس-کاکس نرمال شدند $(p\text{-value} > 0/13)$. مقایسه میانگین پارامترهای هر محدوده به روش آنالیز واریانس انجام شد. واریانس بین متغیر وابسته و عوامل شیب، جهت دامنه، ارتفاع از سطح دریا، فرم زمین، میانگین انرژی دریافتی از خورشید بررسی شد. نتایج نشان داد که تفاوت شیب، جهت دامنه، انرژی دریافتی از خورشید و فرم دامنه و ارتفاع در انتشار نقاط واریزه از نظر آماری در سطح $P > 0/05$ معنادار است. برای نقاط غیر واریزهای فقط در عامل انرژی دریافتی و نقاط تصادفی تفاوت بین آنها معنادار بود و در سایر عوامل تفاوت معناداری در سطح $P > 0/05$ مشاهده نشد. اثر عامل شیب یعنی طبقه ۲۵ تا ۳۵ درجه، جهت جنوبی شرقی، میزان آفتاب‌گیری و جهت دامنه نسبت به سایر طبقه‌ها در پراکنش واریزه بیشتر است.

واژگان کلیدی: واریزه، شیب، دامنه، تحلیل واریانس، پاوه.

مقدمه

واریزه‌ها، سطوح سنگی و منفصل در سطح دامنه‌ها و آبراهه‌ها هستند. از آنجا که واریزه، روی شیب و جهت‌های مختلفی توزیع شده است، به نظر می‌رسد، اثرات طبقات شیب، جهت و ارتفاع در پراکنش مکانی واریزه‌ها یکسان نباشد. توزیع دما و رطوبت به طور غیرمستقیم توسط ویژگی‌های مورفومتریک کنترل می‌شوند. ناحیه کوهستانی مورد مطالعه، از تعداد زیادی سطوح واریزه‌ای برخوردار است. امکان دسترسی به محل واریزه‌ها و مطالعه همه آنها امکان‌پذیر نیست؛ چون هزینه‌بر و زمان‌بر است. واریزه‌ها در منطقه، بیشتر به روستا، جاده، باغ‌ها و تأسیسات مشرف هستند. جریان واریزه، بر اثر بارندگی شدید، اتفاق افتاده است. برای تشخیص مخاطرات ناشی از جریان واریزه‌ای، بهتر است که محیط تشکیل آن، از نظر ژئومورفولوژی بررسی شود؛ برای شناخت محیط تشکیل واریزه‌ها، از ویژگی‌های مورفومتری دامنه‌ها و میزان تابش متوسط خورشیدی محاسباتی محل تشکیل و تجمع واریزه‌ها استفاده می‌شود. به طور معمول شکل‌گیری دامنه‌ها با ظرفیت فرایندهای تولید رسوب و حمل تعیین می‌شود. سطوح واریزه‌ای، حاصل انباشت سنگ‌های تخریب‌شده هستند. هرگاه نرخ تولید واریزه از نرخ حمل بیشتر شود، سطوح واریزه‌ای تشکیل و توسعه می‌یابند (گیلبرت^۱، ۱۸۷۷: ۱۰۳). مواد منفصل حمل‌شده و انباشتی روی دامنه‌ها، تالوس نامیده می‌شوند؛ اگر در داخل آبراهه و مسیل‌ها انباشته شوند، مخروط واریزه نام دارند. اینها بیشتر ترکیبی از قطعات سنگی بزرگ و مواد کوهرفتی ریزدانه هستند (سامرفیلد^۲، ۱۹۹۴: ۱۶۲). تجمع این قطعات سنگی روی دامنه، در امتداد شیب و به صورت جانبی انجام می‌گیرد. در ژئومورفولوژی، با واژه تالوس توصیف می‌شوند (گودی^۳، ۲۰۰۸: ۵۴۳). این مواد سنگی جداشده تا زمانی که نیروی برشی به آنها وارد نشود، در سطح دامنه و دره‌ها پدیدارند؛ اگر مقدار نیروی تنش برشی بیشتر از مقاومت برشی باشد، مواد سنگی منفصل، در امتداد شیب جابه‌جا می‌شوند. یکی از فاکتورهای کنترل‌کننده، در جابه‌جایی آنها، کاهش نیروی مالشی بین ذرات سنگی در اثر بهمن برفی است. این نیرو، تابعی از شیب دامنه، میزان تخلخل و رس‌زایی است (سامرفیلد، ۱۹۹۴: ۱۶۴؛ شرلر^۴ و همکاران، ۲۰۰۳). به طور معمول، واریزه‌های جابه‌جاشده، در یک طبقه شیب خاص مشاهده شده‌اند. در این رابطه، پژوهشی انجام شده که در آن، با بررسی متغیر شیب، مقدار تابش خورشیدی در واحد سطح و لیتولوژی، مشخص شده است که واریزه‌ها به طور میانگین بین شیب ۲۶ تا ۳۳ درجه توزیع شده‌اند (مارکینوز^۵ و همکاران، ۲۰۰۳؛ بکر^۶ و همکاران، ۲۰۰۷). نوسان دما به همراه رطوبت، نقش مهمی در تخریب سنگ دارند. افزایش فشار آب یخ‌زده درون درز و شکاف سنگ‌ها، عامل مهم در تخریب آنها محسوب می‌شود، یخ‌شکافتگی در محدوده بین ۳ تا ۵- درجه سانتی‌گراد، نیازمند رطوبت و آب قابل دسترس است (اندرسون^۷، ۱۹۹۸).

دمای سطحی سنگ‌ها از طریق تابش مستقیم و دمای برگشتی از محیط تأمین می‌شود. جهت دامنه، زاویه شیب و ارتفاع، در دمای سطحی سنگ مؤثرند. در مناطق کوهستانی دارای ایستگاه هواشناسی، امکان اندازه‌گیری تغییرات متغیرهای هواشناسی وجود دارد. تغییرپذیری متوسط دمای سالیانه هوا^۸، به ترتیب ۲ تا

1- Gilbert

2- Summerfield

3- Gudie

4- Scherler

5- Marquez

6- Becker

7- Anderson

8- Mean Annual Air Temperature (MAAT)

۳ درجه سانتی‌گراد برای ایستگاه‌های کوهستانی در سوئیس مشاهده شده است (گرابر و همکاران، ۲۰۰۳). طول موج کوتاه تابش خورشیدی، کنترل‌کننده اصلی نوسانات دمای سطح سنگ‌هاست؛ اما ابرناکی و دمای سنگ‌ها، تابع دمای هواست. به‌ویژه در دیواره سنگی بدون پوشش برف و خاک؛ هر دو عامل اثر قوی در نوسان دمایی سنگ‌ها دارند (گرابر^۱ و همکاران، ۲۰۰۳). سطوح دارای برون‌زدگی سنگی و بدون پوشش خاک و برف، نوسان دمایی بیشتری دارند. میانگین و واریانس تابش خورشیدی در یک چشم‌انداز، وابسته به شیب و جهت دامنه‌هاست (ویکو و پورپوراتو^۲، ۲۰۰۹). از میان عوامل مورفومتریک، جهت جغرافیایی، شیب و ارتفاع، بیشتر در دریافت مقدار و زمان تابش خورشیدی اثر دارند. در چشم‌اندازهایی که نمای آسمان کم و توپوگرافی بسیار پیچیده است، سایه‌اندازی می‌تواند مقدار تابش را کاهش دهد (کاسانوا^۳ و همکاران، ۲۰۰۰؛ اولیفانت^۴ و همکاران، ۲۰۰۳؛ چاو^۵ و همکاران، ۲۰۰۶). اختلاف‌های تابش ورودی خورشید، به نوبت به اختلافات رژیم دمایی منجر می‌شود (وان در تول^۶ و همکاران، ۲۰۰۷). دامنه‌هایی که سایه‌اندازی بیشتری دارند، انرژی کمتری دریافت می‌کنند؛ ب افزون بر این، شیب، با تغییر نور و سایه، روی استقرار گیاهان اثر می‌گذارد. (وانگ^۷ و همکاران، ۲۰۰۲؛ بروکس و ویوونی^۸، ۲۰۰۸). گیاهان نقش مهمی در کنترل پوشش خاک دارند. خاک، نقش حفاظتی از پوشش سنگی دارد؛ همچنین شیب و جهت دامنه، روی ماندگاری برف و ذوب و توزیع دوباره برف اثر دارد (اوانس^۹، ۲۰۰۶). شیب و جهت، روی عمق و ویژگی‌های خاک اثرگذار است. در مجموع، ظرفیت رطوبت خاک را کنترل می‌کنند (ریدولفی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۳). دامنه‌های پشت به آفتاب و قرارگیری دامنه‌ها در مسیر بادهای باران‌آور، آنها را به کمینه و بیشینه‌ی دما برای تخریب سنگ‌ها نزدیک می‌کند (مختاری، ۱۳۸۳). عوامل یادشده، ممکن است روی فرسایش و توسعه ترک و شکاف در خاک اثر داشته باشند (کاسانوا و همکاران، ۲۰۰۰). در نهایت، شیب و انحنای شیب و فاصله از لبه‌ها^{۱۱}، فاکتورهای هستند که در وقوع بهمین و زمین‌لغزش اثر دارند (مگیونی^{۱۲} و گرابر، ۲۰۰۳؛ خطیبی، ۱۳۹۰).

ویژگی‌های مورفومتری در پراکنش سطوح واریزه‌ای اهمیت زیادی دارند؛ از جمله اینکه در توزیع تابش خورشیدی، رطوبت، دمای سطحی سنگ و تخریب سنگ نقش دارند. مرور و جمع‌بندی منابع نشان داد که نوسان دما و رطوبت، تابع جهت دامنه و شیب هستند. حساسیت سنگ‌ها در مقابل نوسان و رطوبت، منجر به تخریب سنگ و ایجاد واریزه شده است.

در مطالعات انجام‌شده، به نقش شیب و جهت جغرافیایی، در توسعه درز و شکاف به واسطه نوسانات دمایی، رطوبت، نور و انرژی اشاره شده است. بیشتر اطلاعات استفاده‌شده در این مطالعات، از ایستگاه‌های

- 1- Gruber
- 2- Vico & Porporato
- 3- Casanova
- 4- Oliphant
- 5- Chaw
- 6- Van Der Tol
- 7- Wang
- 8- Brooks & Vivoni
- 9- Evans
- 10- Ridolfi

۱۱- مکان‌هایی که تغییرات شدید داده‌ای دارند؛ معمولاً به عنوان لبه تعریف می‌شوند. در جاهایی که عوارض تغییر می‌کنند، شدیدترین تغییرات بر لبه‌ها منطبق می‌شوند. روی تصویر سنجش از دور، وقتی دو عارضه مختلف در کنار هم قرار گیرند، لبه منعکس‌کننده مرز این دو محسوب می‌شوند؛ و در DEM جایی که شکستگی رخ دهد؛ اختلاف ارتفاعی منطبق بر لبه است. در اینجا، پرتگاه سنگی و صخره سنگی نسبت به محیط اطرافشان عوارض لبه‌دار محسوب می‌شوند.

- 12- Maggioni

هواشناسی استخراج شده است. در منطقه مورد مطالعه، ایستگاه هواشناسی در ارتفاع بالاتر از ۱۵۰۰ وجود ندارد؛ لذا، استفاده از عوامل غیرمستقیم برای شناسایی نوسان دما، نور، انرژی و رطوبت استفاده شد. از ترکیب جهت، طبقه شیب، انحنا و میزان آفتاب‌گیری یا سایه در سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ برای یافتن سطوح مؤثر در توسعه واریزه بهره گرفته شد. ترکیب شواهد واقعی از سطوح واریزه‌ای، خصوصیات مورفومتری لایه‌های شیب، جهت دامنه، ارتفاع از سطح دریا، انحنای شیب و مقادیر نظری انرژی دریافتی از خورشید در مطالعات قبلی مشاهده نشد. فراوانی واریزه‌ها در کدام جهت دامنه بیشتر است؟ کدام یک از کلاس‌های شیب و طبقه ارتفاعی و فرم انحنایی زمین در توزیع واریزه‌ها مؤثر هستند؟ آیا از لایه تابش خورشیدی می‌توان در یافتن سطوح طبقه هر کدام از فاکتورها که در توزیع واریزه‌ها مؤثرند استفاده نمود؟ اینها، موضوعات جدیدی هستند که دیگران به آن اشاره نکرده‌اند. این پژوهش، با هدف شناسایی سطوح مؤثر عوامل (فاکتورها)، در توزیع واریزه‌ها، انجام شده است. از موقعیت واریزه‌ها برای یافتن سهم هر طبقه در پراکنش واریزه‌ها می‌شود. نکات جدید و مهم در این مقاله برای شناسایی سطوح واریزه‌ها از طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای، لایه تابش خورشیدی^۲، تحلیل آماری تفاوت میانگین واریزه‌ها در هر یک از طبقات عوامل، استفاده می‌شود و با آزمون توکی کرامر^۳ آنالیز واریانس کامل می‌گردد (جباری، ۱۳۸۵: ۱۸۲)؛ اشاره نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در ۸' ۴۶° تا ۲۲' ۴۶° طول شرقی و ۳۵° تا ۸' ۳۵° عرض شمالی در شمال غرب استان کرمانشاه واقع شده است. منطقه اورامانات و پاوه، منطقه‌ای کوهستانی و بسیار ناهمگن است. گسیختگی دامنه‌ها در جهات مختلف جغرافیایی دیده می‌شود. واریزه‌های روی دامنه‌ها با رنگ روشن و عدم پیوستگی قطعات سنگی به عنوان جوان‌ترین رسوبات شناخته می‌شوند، رنگ روشن و بدون پوشش گیاهی، بیانگر فقر خاک است. متوسط بارندگی آن بین ۴۰۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر در نوسان است. بخشی از این ناهمواری‌ها، به مساحت ۱۲۰ کیلومتر مربع در جنوب شهر پاوه در دو طرف یال شمالی و جنوبی کوه آتشفشان در این مقاله بررسی می‌شود (شکل ۱).

به منظور بررسی اثر ویژگی‌های مورفومتری در توزیع واریزه‌ها، لازم است ابتدا مکان‌های دارای واریزه مشخص شوند. برای رسیدن به این هدف، تحقیق مکان وقوع واریزه با روش طبقه‌بندی نظارت‌شده تصویر سنیتینل^۵ ۲، به تاریخ ۲۷ جولای ۲۰۱۷ مشخص شدند. از باندهای ۴، ۳، ۲ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر استفاده شد. تعداد^۶ ۴۱۹ سطح واریزه‌ای با مشخصات پلیگونی شناسایی شدند.

عوامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، انحنای شیب، محیط و بستر تخریب، حمل و انباشت واریزه‌ها را فراهم می‌سازند. اینها از مدل رقومی ارتفاع استخراج شدند. از مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر نیز برای ساخت لایه شیب، جهت دامنه، انحنای دامنه و طبقات ارتفاعی استفاده شد. مقادیر تابش خورشیدی در پنج طبقه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و تابع نظری محاسباتی تابش خورشیدی در نرم‌افزار آرک جی.آی.اس. برآورد شد.

1- Geographic Information System (GIS)

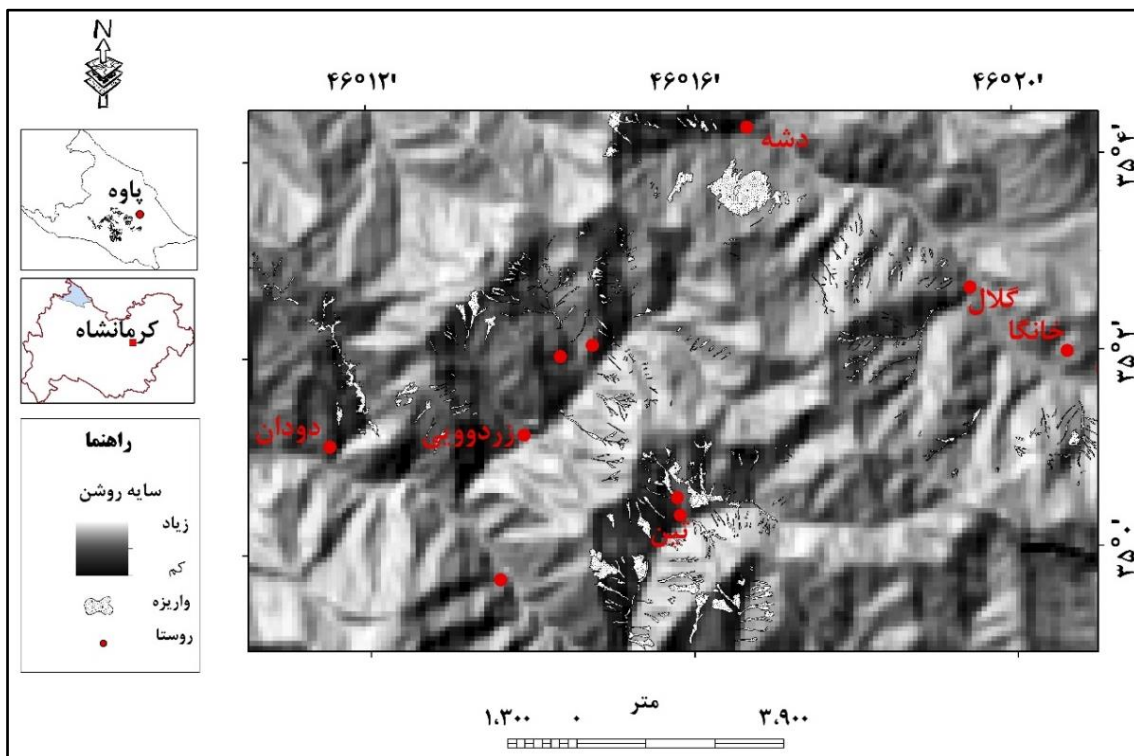
2- Solar Radiation

3- Tukey - Kramer

۴- آمار ایستگاه هواشناسی پاوه، در ده سال اخیر.

5- Sentinel

۶- منظور از نقاط، این است که برای هر واریزه، پلیگونی تشکیل شد. پلیگون مورد نظر، حاصل طبقه‌بندی تصویر سنجنده سنیتینل است. اطلاعات متوسط پلیگون در یک نقطه جمع شد، پس هر پلیگون، از یک میانگین نقطه برخوردار است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی در شهرستان یاهو، استان کرمانشاه، سطوح واریزه‌ها بر روی نقشه، به صورت سایه‌روشن مشاهده می‌شود.

تابش خورشیدی در ترکیب با عوامل ذکر شده، تغییرپذیری دمای سطحی سنگ‌ها را به وجود می‌آورد. از نرم‌افزارهای آرک جی.آی.اس، انوی^۱ و مینی‌تب^۲ برای انجام کار و تحلیل بهره گرفته شد. مقادیر شیب، ارتفاع، جهت و مقدار انرژی تابشی برای هر سطح واریزه‌ای تخصیص داده شد. به تصادف ۴۳۴ نقطه برای مکان‌های غیر واریزه‌ای، با استفاده از تابع تولید نقاط تصادفی^۳ در نرم‌افزار آرک جی.آی.اس. تولید شدند. کمی‌سازی داده‌ها، یک‌سری پیش‌نیاز لازم دارد. یکی از مهم‌ترین پیش‌نیازها، داده‌برداری و نرمال بودن داده‌هاست. برای این منظور، داده‌ها از تصویر طبقه‌بندی شده، استخراج شدند. محدوده واریزه‌ها به آرک جی.آی.اس. انتقال یافت. در مرحله بعد، لازم بود، اطلاعات عوامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، انحنا و مقدار تابش خورشیدی از مدل رقومی ارتفاعی تولید شوند. پس از آماده‌سازی مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری از طریق تابع تحلیل مکانی^۴ لایه شیب و جهت دامنه، انحنا دامنه، ارتفاع و تابش خورشیدی ایجاد شدند. ارزش عددی لایه‌ها، به نقاط واریزه‌ای و غیر واریزه‌ای انتقال یافت. برای اطمینان از نرمال بودن داده، آزمون کلموگراف - اسمیرنوف اجرا شد. داده مکان‌های غیر واریزه در سطح اطمینان^۵ ($p\text{-value} > 0/15$) نرمال تشخیص داده شدند؛ و داده‌های مکان‌های واریزه‌دار، پس از انجام تبدیل باکس - کاکس در سطح اطمینان ($p\text{-value} > 0/13$) نرمال تشخیص داده شدند. از آنجا که سنگ‌شناسی و اقلیم اصلی در منطقه مورد مطالعه

1- The Environment for Visualizing Images (ENVI)

2- Minitab

3- Create Random Points

4- Spatial Analyst

۵- در آزمون نرمال بودن، فرض بر نرمال بودن داده‌ها است. نتیجه آزمون اگر از سطح اطمینان مورد بزرگ‌تر باشد، فرض صفر پذیرفته می‌شود.

مشابه است، لذا با فرض ثبات بودن این فاکتورها، اثر سایر فاکتورها روی ایجاد سطوح واریزه‌ای بررسی می‌شوند. شیب در پنج طبقه، جهت دامنه در هشت جهت، انحنای شیب در سه طبقه، ارتفاع در هفت طبقه، انرژی تابشی خورشید برای طبقات بیان‌شده، استخراج و تعداد سطوح واریزه‌ای، برای هر طبقه مشخص شدند. برای اطمینان از استقلال داده‌ها، همبستگی بین عوامل بررسی شد. عواملی که بین آنها همبستگی معنی‌دار مشاهده نشد، به عنوان عوامل مستقل در نظر گرفته شدند. خصوصیات آماری پارامترهای متمایل به مرکز و پراکندگی محاسبه و تفاوت میانگین هر یک از فاکتورها در طبقه‌های مختلف به روش تحلیل واریانس و «توکی»^۱ بررسی شد. مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر، برحسب سطوح طبقه‌بندی مشخص و در نهایت، تفسیر ژئومورفولوژیکی از نتایج انجام شد.

نتایج

توزیع سطوح واریزه‌ای که نرخ تولید و جابه‌جایی توسط فرایندهای رودخانه و نیروی ثقل را منعکس می‌کند، در سرتاسر منطقه مورد مطالعه متغیر است. در دامنه‌های جنوبی، غربی و جنوب غربی، تعداد واریزه‌ها کم است. این رسوبات، عموماً در پای پرتگاه‌های سنگی مرتفع و بدون پوشش گیاهی یافت می‌شوند. حساسیت سنگ‌ها به نوسان دمایی و رطوبتی، فرایندهای ترموکلاستیک و کریوکلاستیک را فعال ساخته است. افزون بر این، تغییرپذیری مکانی این نوسانات نیز مزید بر علت است. سرچشمه این تغییرپذیری، به مقدار نوسان دما و رطوبت، رخساره سنگ و میزان انرژی خورشیدی رسیده به سطح سنگ بستگی دارد. نوسانات ارتفاعی، شیب و جهت و حتی انحنای دامنه، در انرژی خورشیدی رسیده به سطح سنگ‌ها مؤثرند. سطوح برفی و غیر برفی در محافظت سنگ‌ها نقش دوگانه دارند؛ یعنی زمانی که دامنه‌ها پوشیده از برف باشند، نوسان دمای سطحی سنگ‌ها به کمترین مقدار ممکن می‌رسد. کمتر سطوح واریزه تولید می‌کنند. پس از اطمینان از تشابه شرایط اقلیمی و سنگ‌شناسی، پارامترهای آماری سطوح واریزه برحسب عوامل (طبقه‌ها) شیب، جهت شیب، انحنای دامنه و مقدار تابش فراهم شدند (جدول ۱ و ۲).

توزیع واریزه بر اساس طبقه شیب بررسی شد، نتایج نشان داد که فراوانی واریزه در طبقه شیب ۲۵ تا ۳۵ درجه، بیشتر از سایر طبقات است (جدول ۱). واریزه در بیشتر طبقات شیب مشاهده شد، اما فراوانی سطوح واریزه‌ای در برخی طبقات قابل توجه هستند. ۲۲۸ سطح واریزه در طبقه ۲۵ تا ۳۵ درجه مشاهده شدند. دوّمین طبقه، فراوانی ۱۵ تا ۲۵ درجه است. این دو طبقه، ۸۷/۴٪ واریزه‌ها را دربر می‌گیرند.

بیشترین جهت جغرافیایی گسترش واریزه‌ها، جنوب شرقی و شرق است. در جدول ۱، پارامتر عددی آنها با ۱۳۱ و ۱۶۶/۷ درجه آزیموتی نشان داده شده است. برای درک بهتر از توزیع فراوانی واریزه‌ها نسبت به جهت دامنه، این بار داده‌ها بر اساس طبقات جهت هشت‌گانه تنظیم شدند. در هشت جهت اصلی، داده‌های واریزه‌ای بررسی شد، خلاصه آماری نشان داد که درصد فراوانی سطوح واریزه‌ها در جهت جنوب شرقی، شرق و شمال به ترتیب ۲۷/۸، ۱۵/۹، ۱۵/۲ است (جدول ۲).

بررسی خصوصیات انحنایی دامنه‌های دارای واریزه نشان داد که انحنای دامنه‌ها به طور متوسط، نزدیک به دامنه مستقیم هستند؛ به عبارت دیگر، دامنه‌های دارای واریزه، در امتداد و عمود بر منحنی‌های تراز انحنای ندارند. از نظر انحنای دامنه دارای واریزه به انحنای صفر نزدیک‌اند (جدول ۲).

۱- توکی یک روش آماری برای تأیید معنی‌داری تفاوت میانگین طبقه‌ها یا تیمارهاست. تفاوتش با جدول تحلیل واریانس این است که جزئیات معنی‌داری طبقات را نشان می‌دهد.

مقادیر تابش خورشیدی که از خروجی تابع مربوطه در آرک جی.آی.اس. حاصل شد، در ۵ طبقه دسته‌بندی شد. مقایسه سطوح واریزه‌ای و خروجی میانگین تابش خورشیدی سالیانه در ۵ طبقه نشان داد که مقدار میانگین تابش ماهیانه^۱ برای طبقه بیشترین فراوانی واریزه‌ای را داشتند که حدود ۶۰۴ کیلووات بر متر مربع در سال است. از نظر آماری، یک طبقه میانه محسوب می‌شود (جدول ۱). بررسی توزیع واریزه برحسب طبقات تابشی انجام شد. نتایج، نشان داد که بیشترین سطوح واریزه در جهت جنوب شرقی، شرق و شمال قرار دارند (جدول ۲). لازم به یادآوری است که دامنه‌های جنوب شرقی در منطقه مورد مطالعه، با توجه به ساختار پیچیده (اثرات ترکیبی شیب، جهت دامنه، ارتفاع و سایه‌اندازی بلندی‌های مجاور و تغییر ارتفاع ظاهری خورشیدی در آسمان) بیشترین نوسان تابشی را نشان دادند (جدول ۲).

جدول ۱. مشخصات آماری سطوح واریزه‌ای برحسب عوامل شیب، جهت شیب و ارتفاع

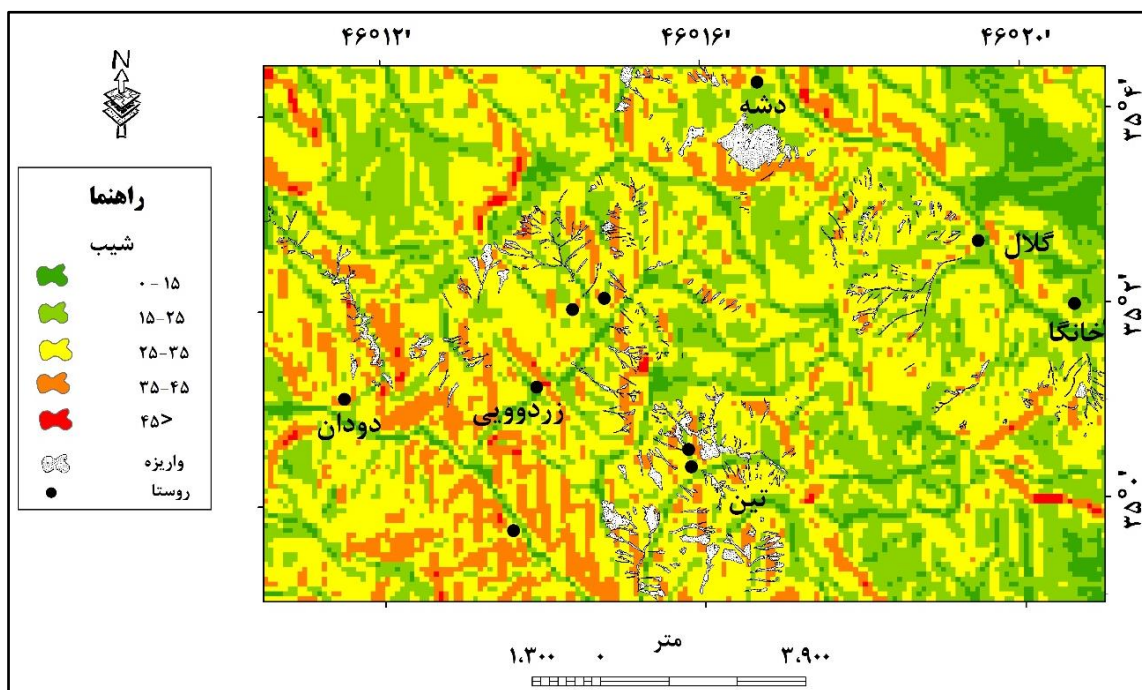
عامل شیب										
ارتفاع از سطح دریا - متر			جهت دامنه برحسب درجه (۰ تا ۳۶۰)			شیب برحسب درجه			طبقه شیب	
بیشینه	کمینه	متوسط	بیشینه	کمینه	متوسط	بیشینه	کمینه	متوسط	تعداد	درجه
۲۱۹۴	۱۴۵۵	۱۹۰۷/۰۲	۲۹۴	۲۳/۵	۱۴۵	۱۴/۹	۴	۱۱/۲	۱۷	۰-۱۵
۲۲۷۹	۱۰۸۳	۱۷۵۷/۴	۳۵۷	۱/۴	۱۳۱/۲	۲۴/۹	۱۵	۲۱/۵	۱۳۴	۱۵-۲۵
۲۲۴۳	۱۲۰۵	۱۷۶۷/۲	۳۵۹/۶	۰/۹۵	۱۶۶/۷	۳۴/۹	۲۵/۰۲	۲۹/۷	۲۲۸	۲۵-۳۵
۲۱۲۸	۱۱۸۵	۱۸۱۲/۸	۳۲۲/۸	۵۷/۱	۱۲۸/۳	۴۱/۷	۳۵/۲	۳۷/۳	۳۴	۳۵-۴۵
۲۱۷۹	۲۱۷۹	۲۱۷۹	۹۵/۵	۹۵/۵	۹۵/۵	۴۵/۷	۴۵/۷	۴۵/۷۲	۱	۴۵>
									۴۱۴	جمع کل
عامل شیب										
تابش خورشید کیلووات ساعت بر متر مربع در سال			انحنای طولی دامنه			انحنای عرضی دامنه			طبقه شیب	
بیشینه	کمینه	متوسط	بیشینه	کمینه	متوسط	بیشینه	کمینه	متوسط	تعداد	درجه
۷۱۳/۵	۶۴۳/۸	۶۷۷/۱	۰/۵۳	-۰/۴۳	۰/۰۵۶	۰/۹۵	-۰/۵۳	-۰/۰۲	۱۷	۰-۱۵
۶۹۹/۵	۵۴۷/۴	۶۳۶/۹	۱/۱	-۰/۷۲	۰/۰۵۹	۰/۷۲	-۱/۱	-۰/۰۵	۱۳۴	۱۵-۲۵
۶۷۲/۲	۵۱۷/۹	۶۰۴/۶	۱/۲	-۱/۰۱	۰/۰۰۸	۰/۷۳	-۰/۷۶	۰/۰۳	۲۲۸	۲۵-۳۵
۶۲۳/۴	۶۴۹/۸	۵۷۲/۳	۱/۳	-۰/۸۲	-۰/۰۲	۰/۸۵	-۰/۸۷	-۰/۰۵	۳۴	۳۵-۴۵
۵۶۰/۸	۵۶۰/۸	۵۶۰/۸	-۱/۰۵	-۱/۰۵	-۱/۰۵	۱/۱	۱/۱	۱/۱	۱	۴۵>
تعداد اولیه سطوح واریزه‌ای ۴۱۹ مورد بود. ۵ مورد داده پرت و گمشده وجود داشت.									۴۱۴	جمع کل

۱- تابش رسیده به سطح زمین، تابع عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، نمای آسمان منطقه و دورنمای آن است. به طوری که در شرایط یکسان که در آن فقط شیب تغییر کند، میزان تابش رسیده به واحد سطح در شیب ۰ تا ۵ درجه بیشتر از سایر طبقات شیب است. در ترکیب شیب با جهت مقدار تابش رسیده متفاوت خواهد شد. چون جهت‌های شمالی و عوامل ارتفاعی سایه‌اندازی، روی محاسبه تأثیر دارند. در این محاسبات، از DEM برای محاسبه تابش رسیده به سطح زمین استفاده شد. از توابع Radiation Solar در زیرمجموعه Spatial Analyst آرک مپ ۱۰/۳ بهره گرفته شد.

۲- یک مورد سطح واریزه مشاهده شد؛ بنابراین، پارامتر آماری متوسط، کمینه و بیشینه‌اش یکسان بود.

برای تحلیل اثر عوامل اقلیمی روی چگونگی شروع واریزه، تغییرات ارتفاعی واریزه بررسی شد. با وجود تغییرات سامانمند شیب و جهت دامنه‌ها، نزدیک به ۵۰٪ سطوح واریزه در بین ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ متر توزیع شده‌اند. این نوسان پراکنش ارتفاعی واریزه‌ها از انحراف معیار ۲۲۵ متر برخوردار است. میانگین ارتفاعی واریزه‌ها ۱۷۷۴ متر از سطح دریا است (شکل ۳).

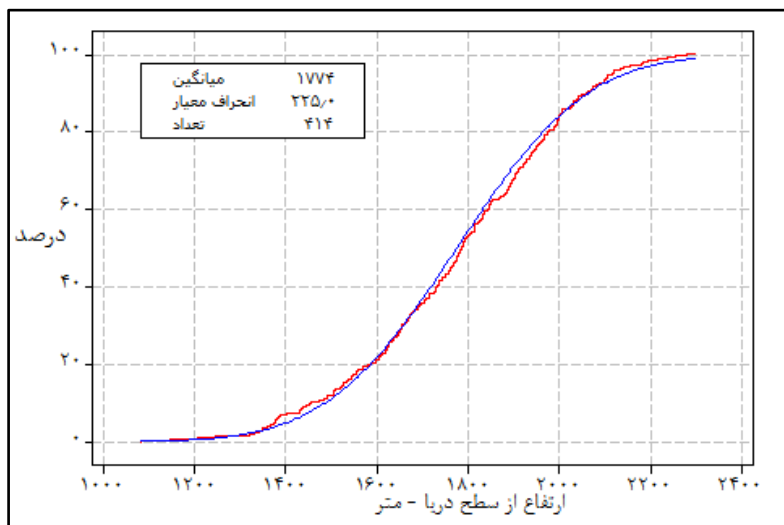
پس از بررسی توصیفی پارامترهای آماری پراکنش واریزه‌ها، این موضوع برجسته شد که تعداد واریزه‌های واقع در هر طبقه یکسان نیست. در برخی عوامل، این پراکندگی به روشنی آشکار نیست. به منظور بررسی معنی‌داری آماری تفاوت میانگین تحلیل واریانس به کار گرفته می‌شود؛ اما قبل از استفاده از واریانس، ماتریس همبستگی یا استقلال عوامل بررسی شد (جدول ۳ و ۴).



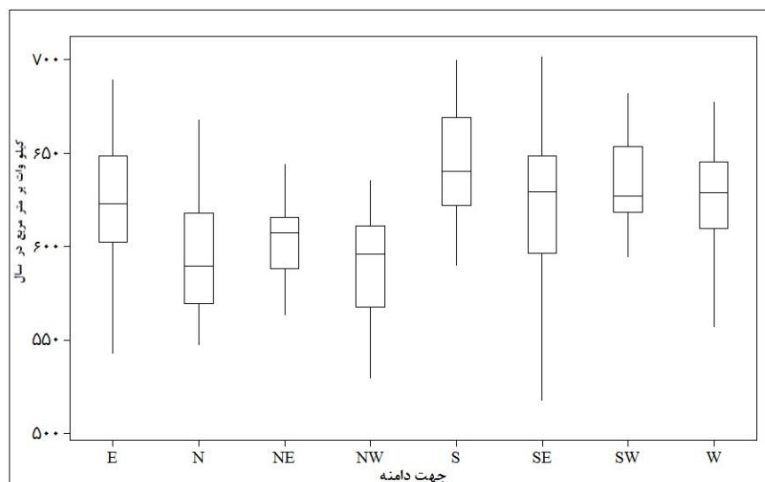
شکل ۲. پراکنش سطوح واریزه‌ای در طبقات شیب مختلف

جدول ۲. تغییرات پارامترهای انرژی خورشیدی دریافتی دامنه‌ها برحسب جهت دامنه و تعداد واریزه‌ها و مقدار شیب

انرژی رسیده به سطح دامنه‌ها برحسب کیلووات ساعت بر متر مربع در سال									
شیب به درجه					تابش خورشید کیلووات ساعت بر متر مربع				
نوسان	بیشینه	کمینه	متوسط	درصد	بیشینه	کمینه	متوسط	تعداد	کلاس جهت
۲۷/۸	۴۰/۹	۱۳/۲	۲۵/۸	۱۵/۹	۶۸۹/۱	۵۲۷/۹	۶۲۲/۷	۶۶	شرق (E)
۱۹/۳	۳۳/۸	۱۴/۹	۲۶/۹	۱۵/۲	۶۶۷/۶	۵۴۷/۴	۵۹۴/۱	۶۳	شمال (N)
۱۸/۹	۳۴/۸	۱۵/۸	۲۶	۸/۷	۶۴۳/۹	۵۳۹/۵	۶۰۱/۶	۳۶	شمال شرقی (NE)
۲۶/۹	۴۱/۷	۱۴/۹	۲۷/۹	۱۲/۸	۶۹۸/۶	۴۹۸/۵	۵۸۸/۳	۵۳	شمال غربی (NW)
۲۵/۰۹	۴۰/۴	۱۵/۳	۲۷/۲	۸/۷	۶۹۹/۶	۵۸۹/۸	۶۴۴/۷	۳۶	جنوب (S)
۴۰/۷	۴۵/۶	۴/۹	۲۸/۲	۲۷/۸	۷۰۱/۵	۴۶۹/۸	۶۲۲/۵	۸۶	جنوب شرقی (SE)
۲۴/۹	۳۵/۱	۱۰/۳	۲۶/۳	۸/۲	۶۸۱/۹	۵۹۴/۷	۶۳۴/۳	۳۴	جنوب غربی (SW)
۳۳/۴	۳۷/۵	۴	۲۶	۹/۷	۷۱۳/۵	۵۵۷/۲	۶۲۶	۴۰	غرب (W)
								۴۱۴	جمع کل



شکل ۳. منحنی تجمعی توزیع سطوح واریزه بر اساس طبقات ارتفاعی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۴. توزیع سطوح واریزه‌ها بر حسب انرژی تابشی به هر جهت دامنه

جدول ۳. ماتریس همبستگی نواحی واریزه‌دار

	شیب	تابش	جهت	ارتفاع	انحنا
شیب	۱				
تابش	-۰/۶۷**	۱			
جهت	۰/۰۵۴*	-۰/۱۱*	۱		
ارتفاع	۰/۰۱۳**	۰/۰۵۷**	-۰/۰۸*	۱	
انحنا	۰/۱۳**	۰/۱**	۰/۰۱*	۰/۳**	۱

جدول ۴. ماتریس همبستگی نواحی بدون واریزه (شاهد)

	شیب	تابش	جهت	ارتفاع	انحنا
شیب	۱				
تابش	-۰/۵۷**	۱			
جهت	۰/۰۰۶*	۰/۰۵*	۱		
ارتفاع	۰/۰۱۱**	۰/۰۶۱**	-۰/۰۸*	۱	
انحنا	-۰/۰۳*	۰/۱۵**	۰/۰۴*	۰/۰۳*	۱

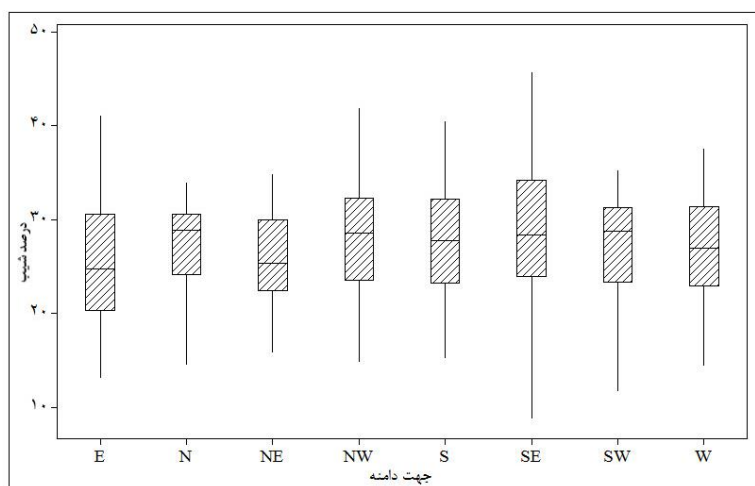
** در سطح ۰/۰۵ معنی دار است. * در سطح ۰/۰۵ معنی دار نیست.

شیب با جهت، جهت با تابش، ارتفاع با جهت در نواحی واریزه‌دار و شاهد (بدون واریزه) مستقل‌اند (جدول ۳ و ۴)؛ یعنی فرض صفر یا عدم همبستگی بین آنها در سطح ۰.۵٪ پذیرفته شد. عدم رابطه ارتفاع و شیب با انحنا، تنها در ناحیه شاهد پذیرفته شد. در بیشتر موارد بررسی شده، همبستگی بین عوامل و سطوح واریزه‌ای مشاهده شد. به نظر می‌رسد که فرایندهای محدودکننده تولید و یا حمل واریزه یکسان نباشند. برای این منظور، میانگین عوامل مستقل و طبقه‌های آنها در ناحیه واریزه‌دار و شاهد با استفاده از تحلیل واریانس بررسی می‌شوند.

عامل شیب، بر اساس طبقات شیب دارای واریزه، در چند طبقه دسته‌بندی شد (جدول ۱). میانگین تعداد واریزه در هر طبقه (گروه) بررسی شد. میانگین تعداد واریزه‌ها در طبقات شیب، یکسان فرض شد. نتایج تحلیل واریانس نشان می‌دهد که میانگین شیب واریزه‌ها برحسب کلاس جهت در سطح اطمینان $p < 0.05$ معنی‌دار نیست؛ یعنی سطوح واریزه بر اساس طبقات شیب، جهت‌های دامنه مشابه دارند (شکل ۴ و جدول ۵).

یکسانی میانگین شیب واریزه‌ها بر پایه طبقات جهت از شکل ۴، آشکار است، چون جعبه‌ها کمابیش در مقابل هم قرار دارند. نتایج تحلیل واریانس میانگین شیب واریزه و جهت نشان داد که در سطح اطمینان ۰.۹۵٪ ($p < 0.05$) معنی‌دار هستند (جدول ۵)؛ به عبارت دیگر، زاویه پایداری مواد سنگی واریزه در بیشتر جهت‌ها در محدوده شیب مشخصی قرار دارد. از منظری دیگر می‌توان بین جهت دامنه و شیب واریزه‌ها، مقایسه انجام داد.

جهت دامنه‌ها، به عنوان متغیر مستقل و شیب واریزه‌ها متغیر وابسته در نظر گرفته شدند (جدول ۳ و شکل ۵). در این جدول، همبستگی بین جهت و شیب برای نواحی واریزه‌دار از نظر آماری در سطح ۰.۰۵ معنی‌دار نشد، یعنی این دو مستقل هستند و روی همدیگر اثر ندارند.



شکل ۴. تغییرات شیب سطوح واریزه‌ها برحسب جهت دامنه

جدول ۵. تحلیل واریانس تغییرات گروه شیب سطوح واریزه و جهت دامنه

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره F	P
طبقه دامنه	۷	۳۴۱/۲	۴۸/۷	۱/۲۱	۰/۲۹
خطا	۴۰۶	۱۶۴۱۶/۹	۴۰/۴		
جمع کل	۴۱۳	۱۶۷۵۸			
	$S = 4/9$				$R-sq(adj.) = 0.40$

در بخش قبلی مشاهده شد که در یک طبقه شیب، واریزه‌ها جهت‌های یکسان داشتند؛ اما عکس این نیز بررسی شد، در جهت‌های مختلف دامنه‌ای شیب واریزه‌ها یکسان نیست. شواهد آماری کافی برای ردّ یکسانی میانگین‌ها وجود دارد. تفاوت میانگین واریزه‌ها نسبت به جهت دامنه در برابر طبقات شیب اختلافشان در سطح $(p < 0/05)$ معنی‌دار است، اما در ناحیه شاهد، اختلاف جهت شیب و گروه شیب معنی‌دار نبود، این خود دلیلی بر استقلال عامل جهت شیب و شیب در سطوح واریزه‌ای است (جدول ۶، شکل ۶).

واکنش سطوح واریزه‌ها، به پراکنش ارتفاعی‌شان در ۵ طبقه شیب و ۸ طبقه ارتفاعی^۱ بررسی شد. بررسی نتایج مقایسه میانگین عامل جهت دامنه و طبقات شیب، نشان می‌دهد، اختلاف میانگین جهت شیب در برابر طبقات شیب، در سطح $(p > 0/05)$ معنی‌دار است، اما در ناحیه شاهد، اختلاف جهت شیب و گروه شیب معنی‌دار نبود، این خود دلیلی بر استقلال عامل جهت شیب و شیب در سطوح واریزه‌ای است. مقایسه میانگین جهت واریزه با طبقه شیب نشان داد که طبقه دو، سه و چهار، تفاوت معنی‌داری نسبت به طبقه شیب یک و پنج دارند (جدول ۷).

جهت دامنه‌های دارای واریزه، با مقدار تابش خورشیدی بررسی شدند. توزیع واریزه‌ها در جهت‌های مختلف با میانگین مقادیر تابش خورشیدی که از معادله تابش محاسبه شد، مقایسه شدند. نتایج نشان داد که اختلاف بین دامنه‌های واریزه‌دار و سطوح مختلف تابشی (طبقه‌ها) در سطح اطمینان $p > 0/05$ معنی‌دار است؛ به عبارت بهتر، استقرار واریزه در جهت جغرافیایی با انرژی رسیده به سطح زمین اختلاف معنی‌داری دارد. از آزمون توکی، برای درک اینکه کدام دامنه جغرافیایی دارای اختلاف معنی‌دار است، استفاده شد. به‌جز جهت‌های جنوب غرب و غرب، در سایر جهت‌ها، اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۸ و ۹). دامنه جنوبی، به تنهایی در یک گروه (A) قرار دارد و سایر جهت‌ها، با برچسب لاتین ویژه، توسط نرم‌افزار نام‌گذاری شدند. گروه‌های جنوب شرقی و شرق در یک گروه، غرب و شمال غربی، نیز در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۹).

جدول ۶. تحلیل واریانس تغییرات جهت واریزه و گروه شیب

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره F	P
طبقه دامنه	۴	۱۲۹۹۸۴	۳۲۴۹۶	۳	۰/۰۱۸
خطا	۴۰۹	۴۴۲۵۱۵۴	۱۰۸۱۹		
جمع کل	۴۱۳	۴۵۵۵۱۳۸			
	$S = 104$				$R\text{-sq}(\text{adj.}) = 0/29$

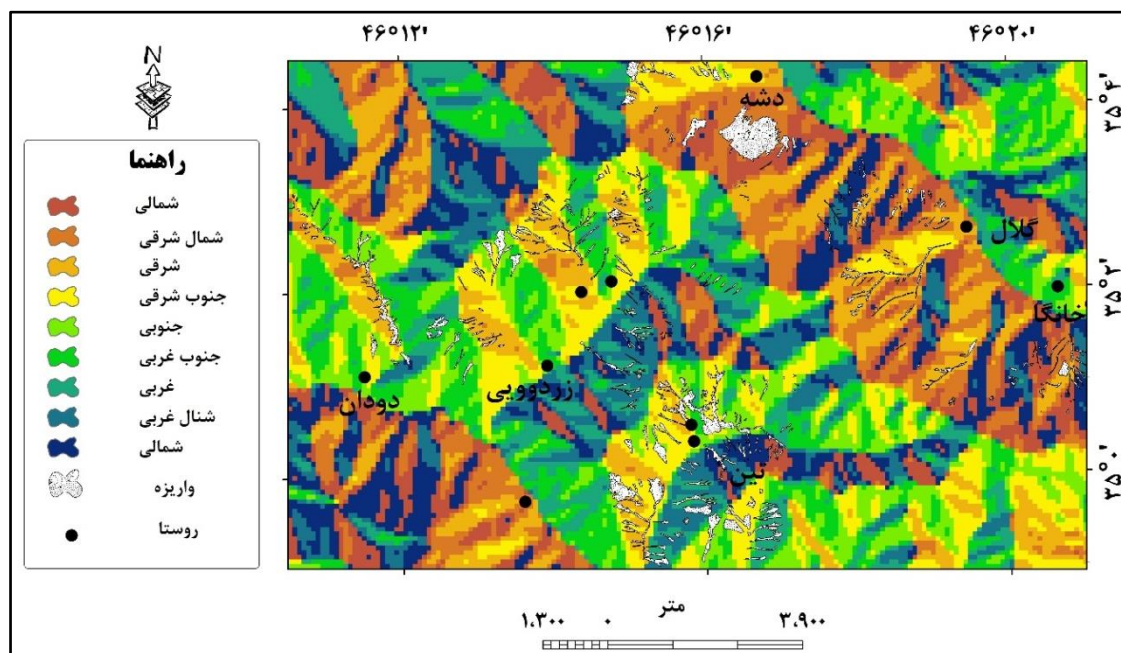
جدول ۷. گروه‌بندی طبقه جهت جغرافیایی واریزه‌ها در مقابل گروه شیب به روش توکی

طبقه شیب	تعداد	آزیموت به درجه	گروه‌بندی
*۳	۲۲۸	۱۶۶/۷	A ^۲
۱	۱۷	۱۴۵	AB
۲	۱۳۴	۱۲۸/۳	B
۴	۱۲۰	۲۵/۸	B
۵	۱	۹۵/۵	AB

طبقه‌بندی که حروف مشترک ندارند، تفاوتشان معنی‌دار است.
* شماره طبقات شیب به جای کرانه پایین و بالای طبقات نوشته شد. شماره ۱، معادل ۱۵-۰ درجه، شماره ۲، ۲۵-۱۵، شماره ۳، ۳۵-۲۵ و غیره است.

۱- کرانه پایین نخستین کلاس ارتفاعی ۹۰۰ متر و با فاصله ۳۰۰ متر تنظیم و در ۵ کلاس ارتفاعی منطقه طبقه‌بندی شد. ۱۲۰۰-۹۰۰ و ۱۵۰۰-۱۲۰۰ و غیره ۲۴۰۰-۲۱۰۰ متر

۲- حروف خروجی روش توکی است. خود روش، برچسب‌گذاری می‌کند.



شکل ۵. پراکنش سطوح واریزه‌ای در طبقات مختلف جهت دامنه‌ای

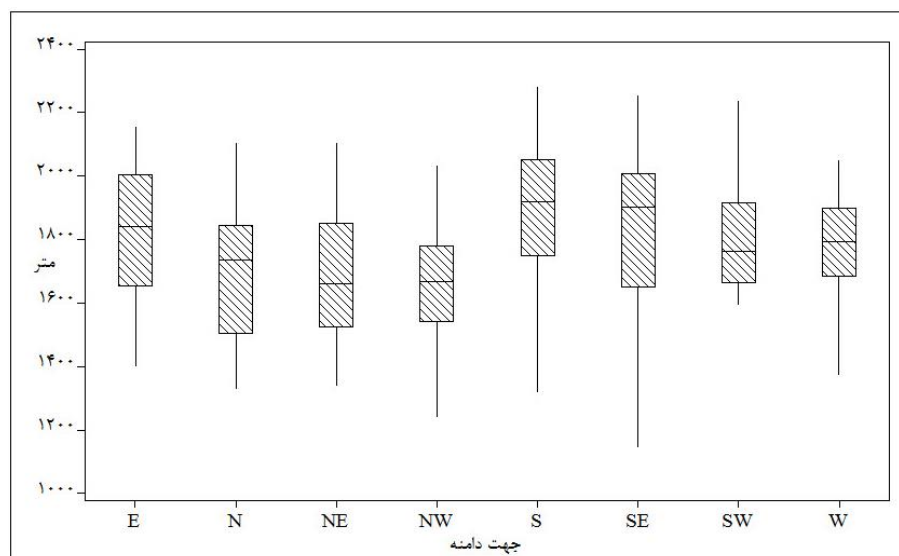
جدول ۸. تحلیل واریانس تغییرات گروه جهت شیب نواحی واریزه و تابش خورشیدی (مستقیم و غیرمستقیم)

P	F آماره	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر
۰/۰۰۰۰	۱۷	۱۸۵۶۱	۱۲۹۹۲۴	۷	طبقه دامنه
		۱۰۹۲	۴۴۳۳۶۲	۴۰۶	خطا
			۵۷۳۲۲۸۶	۴۱۳	جمع کل
		R-sq(adj.) = ٪۲۲/۱		S = ۳۳/۸	

جدول ۹. تفکیک گروه‌های جهت جغرافیایی برحسب مقدار تابش به روش توکی، خروجی از نرم‌افزار مینی‌تب

گروه‌بندی به روش توکی، حروف لاتین نتیجه آزمون است.	میانگین تابش: وات بر کیلومتر مربع در سال	تعداد واریزه	جهت جغرافیایی
A	۶۴۴/۴	۳۶	جنوب
AB	۶۳۴/۷	۳۴	جنوب غربی
AB	۶۲۶/۷	۴۰	غرب
B	۶۲۲/۴	۶۶	شرق
B	۶۲۲/۹	۸۶	جنوب شرقی
C	۶۰۱/۶	۳۶	شمال شرقی
C	۵۹۴/۱	۶۳	شمال
C	۵۸۸۳/۲	۵۳	شمال غربی

اثر دو عامل جهت دامنه و ارتفاع از سطح دریا، در نوسانات دمای سطحی سنگ‌ها (غیرمستقیم سطوح واریزه‌ای) بررسی شدند. پراکنش سطوح واریزه‌ای، نسبت به جهت دامنه‌ای و طبقات ارتفاعی مهم به نظر می‌رسد، چون پراکنش آنها ترجیحاً در دامنه و ارتفاع خاصی مشاهده شده است. با مقایسه میانگین ارتفاع سطوح واریزه‌ای نسبت به جهت مشاهده شد که میانگین یکسان نیست و اختلاف در سطح اطمینان $p > ۰/۰۵$ معنی‌دار است؛ اما در نواحی شاهد (بدون واریزه) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱۰ و شکل ۶). میانگین ارتفاعی واریزه‌ها در طبقه جهت دامنه جنوبی و در طبقه شرقی قابل توجه است.



شکل ۶. پراکنش سطوح واریزه‌ای برحسب جهت دامنه و ارتفاع. سطوح واریزه‌ای در طبقه جنوب شرقی یا SE پراکنندگی بیشتری دارند.

جدول ۱۰. مقایسه جهت‌های هشت‌گانه و میانگین ارتفاعی نواحی واریزه‌دار

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره F	P
طبقه دامنه	۷	۱۹۰۳۵۸۰	۲۷۱۹۴۰	۵/۸	۰/۰۰۰۰
خطا	۴۰۶	۱۹۰۰۰۸۸۸	۵۶۸۰۰		
جمع کل	۴۱۳	۲۰۹۰۴۴۶۸			
	$S = ۵/۹$				$R-sq(adj.) = ٪۵۵$

فرم دامنه‌ها تابع شرایط مختلفی است که از طریق مدل رقومی ارتفاعی تولید می‌شوند. دامنه‌ها در سه طبقه مقعر، محدب و مستقیم قابل تقسیم‌اند. در اینجا انحنا یا همان انحناهای سطوح واریزه‌ای، در امتداد منحنی تراز مد نظر است. فرض یکسان بودن میانگین انحناهای نواحی واریزه‌دار در جهت‌های مختلف بررسی شد. در سه طبقه انحنا و ۸ طبقه جهت جغرافیایی اختلاف معنی‌داری $p > ۰/۰۵$ مشاهده شد. با وجودی که منطقه مورد مطالعه بسیار ناهموار و تغییرات شیب، ارتفاع، تابش متفاوت خورشیدی در طبقاتی منظم دسته‌بندی شدند؛ اما گرایش به تجمع واریزه در طبقات ویژه‌ای مشاهده شد. ۵۰٪ واریزه‌ها در فاصله ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ متر توزیع شده‌اند. تمرکز فعالیت واریزه در منطقه ارتفاعی کوچک و همین‌طور طبقه شیب ۲۵ تا ۳۵ درجه، دامنه‌های غالباً شرقی نشان‌دهنده وجود الگوهای ویژه در توزیع واریزه‌هاست، حتی توزیع سطوح واریزه‌ای در اثر جابه‌جایی ناشی از بارندگی، سیلاب و بهمن برفی به درون آبراهه‌ها گسترش یافته است (شکل ۷).

جدول ۱۱. مقایسه گروه انحناهای سطوح واریزه‌ای و جهت‌ی و میانگین ارتفاعی نواحی واریزه‌دار

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره F	P
طبقه دامنه	۷	۱/۸	۰/۲۵	۲/۶	۰/۰۱۴
خطا	۴۰۶	۴۰/۵	۰/۰۹		
جمع کل	۴۱۳	۴۲/۳			
	$S = ۴/۹$				$R-sq(adj.) = ٪۴۵$



شکل ۷. سطوح واریزه با رنگ روشن بدون پوشش گیاهی (راست). واریزه حمل شده توسط رگبار شدید باران ۲۵ مهر ۱۳۹۳ در روستای تین، باغات، زیر آوار جریان واریزه مدفون شدند (چپ).

بحث

پژوهش‌های قبل، چندین فاکتور کنترل کننده تولید واریزه و عواملی همچون نوع سنگ، درجه حرارت، گرادیان شیب را بیان کردند (گراپر و همکاران، ۲۰۰۳؛ مارکیونز و همکاران، ۲۰۰۳؛ بکر و همکاران، ۲۰۰۷). روش پژوهش حاضر، به کارگیری الگوهای ناحیه در توزیع سطوح واریزه است که در آن، به طور نظام‌مند در جستجوی یافتن سهم هر یک از ویژگی‌های مورفومتری و محیطی در توزیع واریزه‌ها در ناهمواری‌های جنوب شهرستان پاره است.

مقایسه دو به دو گرادیان شیب با جهت دامنه واریزه‌ها، نشان داد که اختلاف معنی‌داری از نظر توزیع شیب واریزه و جهت دامنه وجود ندارد؛ به عبارت دیگر، بیشتر واریزه‌ها در شیب‌های مختلف جهت‌های مختلف جغرافیایی ندارند (شکل ۴). در این نمودار، خط میانگین داخل جعبه‌ها با کمی نوسان، کمابیش به هم نزدیک‌اند؛ اما برعکس، در مقایسه جهت واریزه‌ها با شیب واریزه‌ای، معلوم شد که توزیع غالب واریزه‌ها در طبقه شیب ۲۵ تا ۳۵ درجه و جهت جغرافیایی جنوب شرقی قرار دارند. این به این معنی است که واریزه‌ها در جهت‌های دیگر با شیب کمتر و یا بیشتر از این طبقه (۲۵ تا ۳۵ درجه) توزیع شده‌اند.

بیشترین و کمترین نوسان ارتفاعی واریزه‌ها در دامنه جنوب شرقی و شرقی مشاهده شد. به طور معمول، در شیب‌های بزرگ‌تر از ۳۵ درجه، بهمن برفی مشاهده شده است (شرلر، ۲۰۱۱)؛ بنابراین، بهمن برفی در انتقال واریزه به طبقه شیب دیگر مؤثر است. در این پژوهش، مشخص شد که بیشترین واریزه در جهت جنوب شرقی و شرق توزیع شده است؛ از دیگر سو، بیشترین واریزه با طبقه شیب ۲۵ تا ۳۵ درجه همخوانی دارد. همین‌طور طبقه شیب ۲۵ تا ۳۵ درجه در جهت جنوب شرقی بیشتر از سایر طبقات مشاهده شد. تمرکز فعال واریزه در این طبقه شیب نشان می‌دهد که اثر ترکیبی فرایندهای بارش و دما کنترل می‌شوند (مارکیونز و همکاران، ۲۰۰۳؛ اندرسون، ۱۹۹۸).

فرایندهای یخ‌شکافتگی و دماشکافتگی در تولید واریزه به تغییرات دما وابسته است. دامنه‌های طبقه‌بندی شده در هشت جهت، تابش خورشیدی یکسانی دریافت نمی‌کنند (جدول ۲). از آنجا که دمای سنگ‌ها از تابش خورشید و دمای برگشتی محیط تأمین می‌شود، لذا دمای سطحی سنگ‌ها در دامنه‌های مختلف یکسان نیست. نوسان دما در برخی دامنه‌ها کمتر است؛ از طرف دیگر، فرایند یخ‌شکافتگی به رطوبت و آب قابل دسترس در درون درز و شکاف سنگ‌ها نیاز دارد (اندرسون، ۱۹۹۸). در منطقه مورد مطالعه، واریزه‌ها

بیشتر در جهت جنوب شرقی، شرق و جنوب مشاهده شدند (جدول ۲ و ۹ و شکل ۶). بیشینه گسترش واریزه‌ها بین ارتفاع ۱۸۰۰ تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریا است. ارتفاع بیشینه و کمینه واریزه‌ها در جهت جنوب شرقی قابل ملاحظه است، بین ۱۲۰۰ تا ۲۲۰۰ متر نوسان دارند. وجود برف در بالاتر از تراز ارتفاعی ۲۰۰۰ متر، در بیشتر ماه‌های دی تا اواخر اردیبهشت، پوشش محافظ سنگ‌ها به شمار می‌رود. پوشش برف، لایه محافظ سنگ در برابر نوسان دمای محیط به شمار می‌آید (گرابر و همکاران، ۲۰۰۳)؛ از سویی، بیشتر واریزه‌ها تمایل دارند در یک قلمرو مشخص تجمع یابند؛ در میان جهت‌های مختلف و میانگین شیب سطوح واریزه‌ای، اختلاف معنادار مشاهده نشد. گرایش به استقرار مواد سنگی به سمت یک طبقه شیب وجود دارد (سامرفیلد، ۱۹۹۴؛ گرابر و همکاران، ۲۰۰۳). در دامنه‌های سردتر (شرقی، جنوب شرقی، شمالی و شمال شرقی) ۶۰/۶٪ واریزه مشاهده شد، اما در دامنه‌های گرم (جنوبی، غربی و جنوب غربی) ۲۶/۵٪ واریزه واقع شده است؛ اما در دامنه‌های دارای سایه، ارتفاع استقرار واریزه‌ها کاهش یافته است. مشاهده شد که میانگین ارتفاعی واریزه در جهت‌های مختلف یکسان نیست، در سطح اطمینان $p > 0.05$ اختلافات مشاهده شده معنی دار است. جهت دامنه در دریافت تابش خورشیدی و رژیم دمایی دامنه‌ها مؤثر است (اولیفانت و همکاران، ۲۰۰۳)؛ وان در تول و همکاران، ۲۰۰۷؛ گرابر و همکاران، ۲۰۰۳).

در بررسی جهت و عامل ارتفاع واریزه، مشاهده شد که عامل جهت، روی ارتفاع میانگین واریزه اثر یکسان ندارد، اختلاف آماری آنها در سطح معنی داری $p > 0.05$ پذیرفته شد؛ به عبارت دیگر، تفاوت اقلیم به‌ویژه ماندگاری برف، روی کاهش میانگین ارتفاعی واریزه‌ها اثر گذاشته است، به طوری که در دامنه‌های جنوبی، میانگین ارتفاع تشکیل واریزه بالاتر از ارتفاع ۱۹۰۰ متری است. از بررسی و مقایسه جهت دامنه‌ای سطوح واریزه‌ای و تابش خورشیدی مشخص شد که دامنه جنوب شرقی، از نظر مقدار میانگین انرژی خورشیدی، ۶۲۲ کیلووات بر متر مربع در سال، دامنه سرد محسوب می‌شود و بیشترین تعداد سطوح واریزه‌ای در این دامنه قرار گرفته‌اند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ اوانس، ۲۰۰۶). بیشتر واریزه‌های شناسایی شده از تصویر طبقه‌بندی شده، سنتینل ۲، با ویژگی‌های مورفومتری واریزه انطباق خوبی داشتند. شواهد به دست آمده نشان می‌دهد که شیب‌های ۲۵ تا ۳۵ درجه، پایداری بیشتری دارند. نتایج حاصل از به‌کارگیری لایه تابش خورشیدی در شناسایی دامنه سرد و گرم، مناسب تشخیص داده شد؛ چون پراکنش واریزه‌ها با جهت‌های جغرافیایی منطبق است. در حدود ۵۷٪ واریزه‌ها در دامنه‌های شرقی، شمال شرقی و جنوب شرقی واقع شده‌اند (اوانس و همکاران، ۲۰۰۶). کاهش خط تراز واریزه در دامنه‌های شرقی، شمال شرقی و جنوب شرقی در منطقه مورد مطالعه پایین‌تر از سایر دامنه‌هاست.

نتیجه‌گیری

برای تحلیل اینکه چگونه ویژگی‌های مورفومتری ممکن است در ایجاد واریزه نقش داشته باشند، بررسی ژئومورفولوژیکی و آماری انجام شد. توزیع واریزه‌ها نشان داد که فعالیت‌های تخریبی در دیواره‌ها و پرتگاه‌های سنگی فعال است. رنگ روشن و بدون پوشش و سقوط سنگی نشان‌دهنده تخریب رخنمون‌های سنگی است. توزیع واریزه‌ها با ویژگی‌های شیب، جهت دامنه، ارتفاع از سطح دریا و اثر ترکیبی شیب و جهت دامنه روی مقادیر تابش خورشیدی بررسی شد. چهار الگو برای توزیع واریزه‌ها شناسایی شد. الگوی نخست، جهت دامنه جنوب شرقی، شرقی و شمال شرقی، بیش از سایر جهت‌ها در پراکندگی واریزه نقش دارند. الگوی دوم، بیشترین فراوانی واریزه در طبقه شیب ۲۵ تا ۳۵ درجه مشاهده شد. الگوی سوم، تمرکز فعال واریزه بر طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا منطبق است. الگوی چهارم، یا تابش خورشیدی رسیده به سطح

زمین که در آن دامنه‌ها بر اساس میزان انرژی دریافتی طبقه‌بندی شدند، نشان داد که دامنه‌های شیب‌دار، جهت جغرافیایی جنوب شرقی، شرقی، شمال شرقی و حتی دامنه‌هایی که تحت تأثیر سایه‌اندازی ارتفاع‌های مجاور قرار دارند، انرژی کمتری در طول سال دریافت می‌کنند؛ لذا، این چنین دامنه‌هایی سردتر به شمار می‌آیند. واریزه‌ها در دامنه‌های سردتر و دارای سایه غلبه دارند. درصد فراوانی پوشش واریزه در دامنه‌های جنوب شرقی و شرقی نسبت به سایر دامنه‌ها بیشتر است. با وجود تغییرات نظام‌مند بارش نسبت به ارتفاع، توزیع واریزه در بیشتر طبقات ارتفاعی مشاهده می‌شود. سطوح واریزه‌ای مورد مطالعه، ترکیبی از مناطق فعال ژئومورفولوژیکی (فرسایش و حمل) و انباشت هستند.

برای تحلیل واریانس، عواملی که با هم همبستگی آماری نداشتند انتخاب شدند (جدول ۳ و ۴). چون متغیرهای پیش‌بینی‌کننده نایستی با هم همبستگی داشته باشند. بر اساس آن، پراکنش آماری محدوده‌های واریزه در هر یک از طبقات متنوع بررسی شد. میانگین اندازه‌گیری شیب سطوح واریزه در هر طبقه شیب نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح درصد، بین طبقات وجود دارد. تعداد ۸۶ سطح واریزه در جهت جنوب شرقی پراکنده است. میزان انرژی رسیده به واحد سطح در این جهت دامنه، به نسبت کمتر است (جدول ۹). اختلافات میانگین سطوح واریزه‌ای و جهت دامنه‌ها، از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار تشخیص داده شد. دامنه‌هایی که پوشش واریزه‌ای کمتر دارند، از نظر مخاطرات محیطی (جابه‌جایی واریزه) ایمن‌تر هستند. دره‌های مشرف به روستاها، زیرساخت‌ها و باغ که در گذرگاه جریان‌های واریزه قرار دارند، می‌توانند مخاطره‌آمیز شوند. در اثر وقوع حرکت توده‌ای از نوع جریان واریزه‌ای، بخش زیادی از سطوح واریزه‌ای وارد جریان کانالی شده و به باغ‌های روستاییان خسارات وارد کردند. شناسایی سهم عوامل و سطوح طبقه‌ای در مدیریت زیرحوضه‌هایی که از ترکیب عوامل یادشده در بالا تشکیل یافته‌اند، بسیار مهم است. انتظار می‌رود که بستر آبراهه‌ها و مسیل زیرحوضه‌هایی که جهت‌های جنوب شرقی، شمال شرقی و شمالی در آن مساحت بیشتری دارد، پوشیده از نهشته‌های جریان واریزه باشد. با وقوع بارندگی شدید، امکان حرکات توده‌ای برای مواد فراهم می‌شود. یکی از این حرکات توده‌ای، جریان واریزه است که نمونه‌ای از این جریان‌ها، در منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۹۳ اتفاق افتاده است (شکل ۷). سهم دامنه‌ها و طبقات شیب در استقرار واریزه در منطقه مورد مطالعه مشخص شد؛ به طوری که شیب ۲۵ تا ۳۵ درجه و جهت جنوب شرقی، شرقی، بیشترین تعداد واریزه را دارند، در مطالعات بعدی، مشخصات فیزیکی واریزه از نظر اندازه و قطر رسوبات، زاویه شکستگی به منظور بررسی همگنی محیط واریزه‌ها بررسی خواهد شد. مدیریت و حفاظت از چنین محیط‌هایی برای کاهش مخاطرات، به دانش بیشتری نیاز دارد.

سپاسگزاری

این مقاله از نتایج اولیه پروژه تحقیقاتی بررسی معیارها و تهیه یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای مکان‌یابی و اولویت‌بندی بندهای زیرزمینی در استان کرمانشاه استخراج شده از پشتیبانی فنی و مالی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کرمانشاه سپاسگزاری می‌شود؛ همچنین از مشاوره آقای دکتر هوشمند صفری در تحلیل آماری سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

جباری، ایرج (۱۳۸۵) روش‌های آماری در علوم محیطی و جغرافیایی، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه رازی، کرمانشاه.

خطیبی، مریم (۱۳۹۰) تحلیل و بررسی نقش عوامل توپوگرافی و دینامیک رودخانه‌ای، بر اندازه مخروط‌های واریزه، پژوهش‌های جغرافیایی، (۶۰)، صص. ۱۷۵-۱۵۷.

مختاری، داوود (۱۳۸۳) ژئومورفولوژی و تغییرات آب و هوایی هولوسن در کوه گچی قلعه‌سی و دامنه‌های مجاور آن، پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۶ (۴۹)، صص ۱۴۷-۱۲۷.

- Anderson, R. S. (1998) Near-Surface Thermal Profiles in Alpine Bedrock: Implication for the Forest Weathering of Rock, **Arctic and Alpine Research**, 30 (4), pp. 362-372.
- Becker, A., Khrner, C., Brun, J., Guisan, A. (2007) Ecological and Land Use Studies Along Elevational Gradients, **Mountain Research and Development**, 27 (1), pp. 58-65.
- Brooks, P., Vivoni, E. (2008) Mountain Ecohydrology: Quantifying the Role of Vegetation in the Water Balance of Mountain Catchments, **Ecohydrology**, 1 (3), pp. 187-192.
- Casanova M., Messing I., Joel A. (2000) Influence of Aspect and Slope Gradient on Hydraulic Conductivity Measured by Tension Infiltrometer, **Hydrology Processes**, 14 (1), pp. 155-164
- Chow, F. K., Weigel, A. P., Street, R. L., Rotach, M. W., Xue, M. (2006) High Resolution Large-Eddy Simulations of Flow in a Steep Alpine Valley, **Applied Meteorology and Climatology**, 45, pp. 63-86.
- Evans, I. S. (2006) Glacier Distribution in the Alps: Statistical Modelling of Altitude and Aspect, **Geografika Annaler**, 88 (2), pp.115-133
- Gruber, S., Peter, M., Hoelzle M., Woodhatch, I., Heaberli, W. (2003) Surface Temperatures in Steep Alpine Rock Faces-a Strategy for Regional-Scale Measurement and Modelling, Zurich, **In Proceedings of the Eighth International Conference on Permafrost**, Swets, pp. 325-330.
- Gudie, A. (2008) **Encyclopedia of Geomorphology**, International Association of Geomorphologists, New York.
- Maggioni, M., Gruber, U. (2003) The Influence of Topographic Parameters on Avalanche and Dimension and Frequency, **Cold Region Science Technology**, 37 (3), pp. 407-419.
- Marquinez, J., Menendez, R., Farias, P. (2003) Predictive GIS-Based Model of Rockfall Activity in Mountain Cliffs, **Natural Hazard**, 30 (3), pp. 341-360.
- Oliphant, A. J., Spronken-Smith, R. A. Sturman, A. P., Owens, I. F. (2003) Spatial Variability of Surface Radiation Fluxes in Mountainous Terrain, **Journal Applied Meteorological**, 42 (1), pp. 113-128.
- Ridolfi, L., Odorico, P. D., Porporato, A., Rodriguez-Iturbe, I. (2003) Stochastics soil Moisture Dynamics Along a Hillslope, **Hydrology**, 272 (1-4), pp. 264-275.
- Scherler, D., Boakhgen, B., strecker, M. R. (2003) Spatially Variable Response of Himalayan Glacier to Climate Change Affected by Debris Cover, **Nature Geoscience**, 4, pp. 156-159.
- Summerfield, M. (1994) **Global Geomorphology**, John Wiley & Sons, New York.
- Van Der Tol, C., Dolman A. J., Waterloo, M. J., Raspor, K. (2007) Topography Induced Spatial Variations in Diurnal Cycles of Assimilation, **Bio geosciences**, 4 (1), pp. 137-153
- Vico, G., Porporato, A. (2009) Probabilistic Description of Topographic Slope and Aspect, **Geophysical Research**, 114, pp. F01011.
- Wang, S., Chen, W., Cihlar, J. (2002) New Calculation Methods of Diurnal Distribution of Solar Radiation and its Interception by Canopy over Complex Terrain, **Ecological Modelling**, 155 (2-3), pp. 191-204.
- Wolinsky, M. A., Lincoln F. P. (2005) Constraints on Landscape Evolution from Slope Histograms, **Geology**, 33 (6), pp. 477-480.

