

بررسی کمی و کیفی اشکال فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای (مطالعه موردی: حوضه سیاهرود)

چکیده

اشکال مختلف فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای که تخلیه مواد حاصل از فرسایش دامنه‌ها را به عهده دارند، یکی از مسائل مهم زیست محیطی ایران است. برای کنترل یا کاهش آثار تخریبی آنها باید عوامل مؤثر بر این فرآیندها ارزیابی شود. به منظور شناخت این عوامل در این مطالعه، ابتدا با استفاده از عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی و مشاهده‌های زمینی، اشکال فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای موجود در منطقه شامل فرسایش شیاری، سولیفلوکسیون، خزش، لغزش، ریزش و فرسایش کنار رودخانه‌ای شناسایی و تعیین حدود گردید. سپس ویژگی‌های هر یک از این اشکال و فرآیندها از نظر نوع سازند، توپوگرافی، تراکم زهکشی و عوامل اقلیمی به تفکیک، اندازه‌گیری و محاسبه شد. جهت تعیین روابط بین اشکال فرسایش مشاهده شده در منطقه و پارامترهای محاسبه شده و همچنین شناخت مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد آنها، از تحلیل‌های آماری رگرسیون چند متغیره استفاده گردید. نتایج حاصله، بیانگر آن است که متغیرهای: نوع سازند، ارتفاع، بارش و شیب منطقه، نقش بیشتری در تحول و تنوع اشکال مختلف فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای داشته‌اند.

کلید واژه‌ها: اشکال فرسایش، فرآیندهای دامنه‌ای، سیاهرود، رگرسیون چند متغیره.

مقدمه

انواع و اشکال مختلف فرسایش، همراه با فرآیندها و حرکات مواد دامنه‌ای از مهم‌ترین عوامل مسؤو در تغییر شکل ناهمواری‌ها به‌شمار می‌روند. به محض تشکیل فرآورده‌های هوازدگی و تخریب بر سطح دامنه‌ها، عوامل دما و آب به کمک دخالت نیروی جاذبه، فرآیندهای فرسایش را موجب می‌شوند. این عوامل برحسب جنس و نسبت مقاومت سنگ‌ها و در ارتباط با شرایط اقلیمی حاکم بر نواحی مختلف، فرآیندهای دامنه‌ای را به صورت‌های ریزش، لغزش، خزش و سولیفلوکسیون، چهره زمین را دائماً تحت تأثیر قرار داده، آن را تغییر می‌دهند (محمودی، ۱۳۸۰، ۲). حرکت‌های توده‌ای نقش مهمی در تغییر شکل ناهمواری‌ها و فرسایش داشته و در اغلب مناطق ایران و به ویژه مناطقی که میزان بارش بیشتر از ۴۰۰ میلی‌متر است، به وقوع می‌پیوندد (حمیدی و فیض‌نیا، ۱۳۷۸، ۴۱۳). این فرآیندها با توجه به ویژگی‌های ناهمواری‌ها در ایران هر ساله موجب خسارت‌های زیاد جانی و مالی، بویژه در طول جاده‌ها می‌گردند.

فرآیندهای فرسایش در حوضه‌های آبی، نتیجه تأثیر عوامل پیچیده‌ای است که شناخت و ارزیابی آنها، نیاز به بررسی‌های دقیق و همه‌جانبه‌ای دارد. به‌نظر می‌رسد که از لحاظ کمی، در ارتباط با اشکال فرسایش در یک منطقه و برخی از پارامترها و فرآیندهای مؤثر بر آن، بتوان مدل‌هایی را ارائه نمود. از این‌رو، لازم است این اشکال از نظر کمی، مطالعه شوند. با شناسایی روابط موجود و مشخص شدن عوامل اصلی مؤثر در آنها، می‌توان راهکارهای علمی و عملی مناسب را در برنامه‌های حفاظت خاک و پایداری دامنه‌ها تشخیص داد و مسائل ناشی از آنها را برطرف کرد. از طرف دیگر، این مشخصات جهت‌دهنده نوع بهره‌وری از اراضی حوضه‌ها بوده، مستقیم و غیرمستقیم با دیگر موضوعات مورد مطالعه علوم زمین و همچنین اقتصاد ساکنان این مناطق ارتباط دارد.

در مورد فرسایش در کشورهایی، چون: کانادا، ایالات متحده و استرالیا بسیار مطالعه شده و با توجه به روابط ارائه شده توسط هورتن^۱ (۱۹۴۵)، استرال^۲ (۱۹۶۸) و سایر ژئومورفولوژیست‌ها، امروزه دستیابی به بسیاری از پارامترهای ژئومورفولوژی در حوضه‌های آبی امکان‌پذیر است. مطالعات اسمیت و ویشمایر^۳ (۱۹۶۲) نشان داده است که فرسایش بر روی سطوح شیب‌دار، امری بسیار پیچیده است. این پدیده به نیروهای فرساینده و

1- Horton

2- Strahler

3- Smith and Wischmeier

مقاومت سطح در برابر فرسایش بستگی دارد. توماس و دیگران^۴ (۱۹۹۵، ۴) ضمن بررسی عوامل ایجاد حرکت‌های توده‌ای در شیب‌های سنگی، سازندهای ماسه سنگ و سنگ آهک را با فراوانی بالای ریزش ذکر کردند. آنها هوازدگی و خصوصیات سنگ را از عوامل مهم در تعیین فراوانی و نوع حرکت توده‌ای مواد می‌دانند. دورگین^۵ (۱۹۷۷، ۱۲۷) حرکت توده‌ای مواد را به هوازدگی سنگ‌های گرانیتی طی تکامل فرسایشی زمین‌های گرانیتی مرتبط می‌داند. به نظر اهمری و دیگری^۶ (۱۹۹۵، ۱۴۵) تأثیر اختلافات محلی یا ناحیه‌ای در میزان و بزرگی لغزش‌ها به وسیله شرایط مکانی و ارتفاعی کنترل می‌شود و عوامل ناهمواری و شیب نقش اصلی دارند. به نظر پیرسن و دیگران^۷ (۲۰۰۱، ۱)، بر حسب تغییرات شیب، نحوه ریزش تغییر می‌کند.

سابقه تحقیق در مورد اشکال فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای در اکثر کتب ژئومرفولوژی در ایران موجود است (محمودی، ۱۳۷۴، ۳۳؛ احمدی، ۱۳۷۸، ۲۲۹؛ رفاهی، ۱۳۷۵، ۸۱)، اما پژوهش‌های موردی و کمی در خصوص تعیین روابط بین نوع اشکال فرسایش و عوامل ژئومرفولوژی مؤثر بر آن اندک بوده، بررسی‌های کیفی انجام شده در خصوص با این موضوع نیز توجه‌کننده مسأله مورد نظر نیستند. احمدپور (۱۳۷۵، ۱۲۱)، با مطالعه پارامترهای هیدروژئومرفولوژی حوضه نوررود، به این نتیجه رسید که فرسایش و تراکم زهکشی و ضریب اقلیمی ارتباط بسیار نزدیکی با هم داشته، نوع سازندهای زمین‌شناسی بیشترین تأثیر را دارد. مطالعات انجام شده توسط احمدی و دیگری (۱۳۷۸، ۴۱۳) نشان داده است که فرسایش آبی در روی ناهمواری‌های حساس ایران طی کواترنر، شامل فرسایش شیاری، آبراهه‌ای، هزار دره، حرکت‌های توده‌ای، فرسایش خندقی و رودخانه‌ای بوده و در میان انواع فرسایش آبی، مهم‌ترین پدیده فرسایش در دوره مرطوب، حرکت‌های توده‌ای بوده است که در تغییر شکل ناهمواری‌ها و رسوب‌زایی نقش اساسی داشته است. در سایر پژوهش‌ها نیز به‌طور معمول، فرسایش در رابطه با سازندهای زمین‌شناسی و رواناب مطالعه شده است.

هدف از این تحقیق شناسایی و ارزیابی عواملی است که در بروز اشکال مختلف فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای در منطقه نقش مهم‌تری دارند. با توجه به فراوانی و تنوع

4- Thomas et al
7- Pierson et al

5- Durgin

6- Ohmori et al

اشکال مختلف فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای و نیز در دسترس بودن داده‌های نسبتاً مناسب، حوضه سیاهرود برای انجام این تحقیق انتخاب شده است.

مواد و روش‌ها

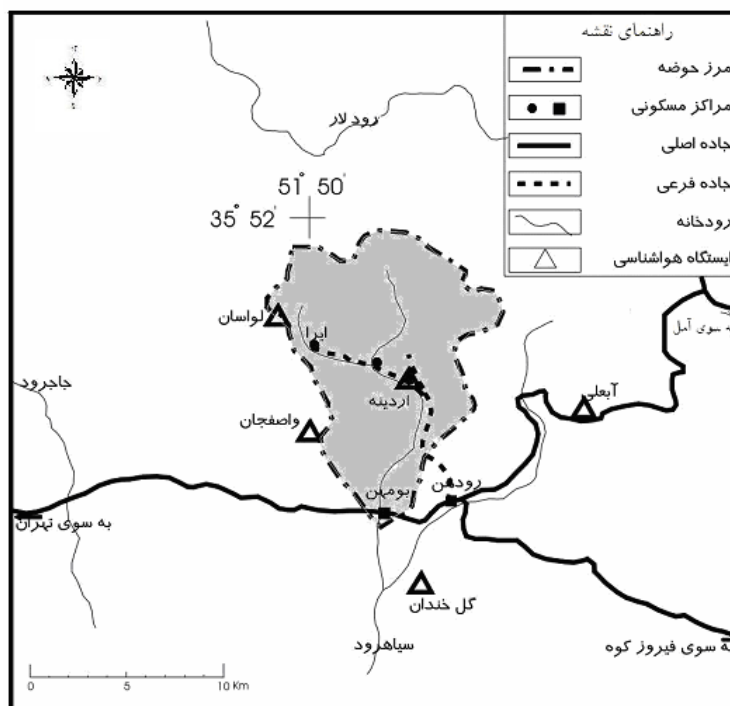
موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های طبیعی حوضه سیاهرود

حوضه سیاهرود یکی از زیرحوضه‌های دماوند است که در موقعیت جغرافیایی $35^{\circ}43'$ تا $35^{\circ}52'$ عرض شمالی و $51^{\circ}48'$ تا $51^{\circ}56'$ طول شرقی قرار دارد. این حوضه که در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی واقع شده، از شمال به حوضه سد لار و از شرق به حوضه آبخیز آه و از غرب و جنوب غربی به حوضه جاجرود محدود است و در جنوب بومهن به رودخانه دماوند منتهی می‌شود (شکل ۱).

مساحت حوضه سیاهرود ۹۴۱۸ هکتار و حداکثر و حداقل ارتفاع به ترتیب ۳۳۷۰ متر در خط‌الرأس شمالی و ۱۷۳۰ متر در نقطه خروجی آن است. ارتفاع متوسط حوضه ۲۳۸۱ متر به دست آمد که به لحاظ توپوگرافی حوضه‌ای کوهستانی است. طول آبراهه اصلی حوضه $18/7$ کیلومتر و شیب متوسط آن $7/6$ درصد است.

منطقه از نظر زمین‌ساختی به شدت چین‌خورده و از رسوبات پالئوزوئیک، مزوزوئیک و ترشیاری تشکیل شده که توسط گسل بزرگ مشاء- فشم به سمت بخش جنوبی بر روی چین‌خوردگی‌های حاشیه‌ای سازند کرج رانده شده است. سازندهای زمین‌شناسی شمشک، فاجان، زیارت، لار و آبرفت‌های دوران چهارم از سازندهای غالب منطقه به‌شمار می‌روند. حوضه سیاهرود از سه واحد اصلی ژئومرفولوژی شامل کوهستان، تپه‌ماهور و پایکوه تشکیل شده است. واحد کوهستان، نیمه شمالی حوضه را در ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر به خود اختصاص داده است. سازندهای آن متفاوت بوده و اغلب از آهک‌های مقاوم دوران دوم ساخته شده است، به طوری که ناهمواری‌هایی به صورت پرتگاه و همچنین برونزدهای سنگی را به وجود آورده است. واحد تپه‌ماهور در ارتفاعات کمتر از ۲۵۰۰ متر گسترش دارد. در این واحد، تخریب مکانیکی ناشی از نوسانات دمایی تا حدودی کاهش یافته تجمع مواد در روی سازندهای سطحی دوران چهارم وجود دارد. واحد پایکوه در ارتفاع کمتر از ۱۸۰۰ متر و با مساحت ۳۸۵ هکتار در انتهای جنوبی

حوضه واقع شده است. سازندهای آن مربوط به دوره‌های مرطوب یخچالی کواترنری است که طی آن، تخریب در ارتفاعات کوهستانی بسیار شدید بوده و در نتیجه رسوب‌گذاری به مقدار زیاد صورت گرفته است. خاک آن نسبتاً عمیق و به دلیل نفوذپذیری مناسب و شیب کم (اغلب کمتر از ۱۰ درصد) توسط ساکنان منطقه بشدت بهره‌برداری شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه سیاهرود

مراحل تحقیق

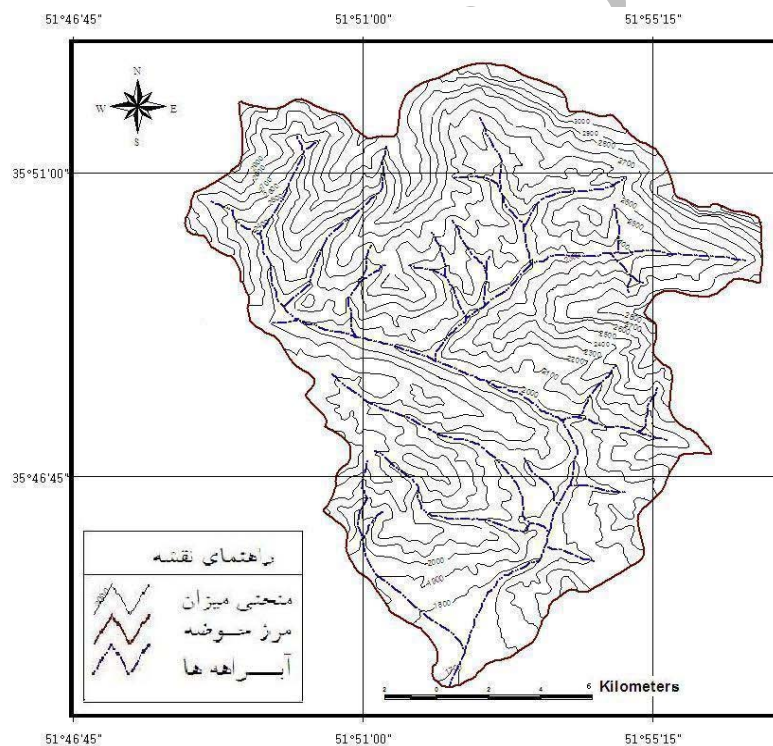
با توجه به اهداف این تحقیق، ابتدا موقعیت منطقه بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۵۰,۰۰۰ مشخص و سپس اشکال فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای بر روی عکس‌های هوایی تعیین گردید. آنگاه نوع این اشکال بر روی زمین، شناسایی و طبقه‌بندی شد. با تهیه و ترسیم نقشه توزیع اشکال و فرآیندها در محیط GIS، میزان سطح هر یک محاسبه شد. جهت تجزیه و تحلیل اشکال فرسایش و تهیه داده‌های مورد نیاز از پارامترهای کمی و کیفی

موجود در حوضه، نظیر جنس زمین، ارتفاع، شیب و تراکم آبراهه‌ها استفاده شده است. در مطالعه ناهمواری‌های منطقه و تعیین ارتفاع اشکال و فرآیندها، نقشه هیپسومتری حوضه تهیه شده است (شکل ۲). ارتفاع متوسط هر یک از اشکال، برحسب میانگین آماری و به طریق وزنی محاسبه شد. شایان ذکر است، چون عامل ارتفاع در حوضه که واحدی مستقل است، بدون توجه به سطح دریای آزاد در نظر گرفته شده است، حداقل ارتفاع صفر و از این مینا، حداکثر ارتفاع حوضه ۱۶۴۰ متر محاسبه گردید.

در خصوص عامل شیب و تهیه نقشه آن، ابتدا با ملاحظه وضعیت توپوگرافی حوضه و نیاز مطالعاتی، طبقات شیب در سه دسته در نظر گرفته و سپس مناطق مشابه از نظر شیب، پهنه‌بندی و ترسیم شد. پس از آن سطوح هم شیب برای هر یک از اشکال مورد بحث، اندازه‌گیری و نتایج در جدول ۱ ارائه گردید. جهت شناخت و بررسی آبراهه‌ها و تراکم زهکشی در اشکال مورد مطالعه، شبکه هیدروگرافی حوضه نیز ترسیم شد و مورد توجه قرار گرفت. در مجموع تعداد ۷۷۰ آبراهه، عمل تخلیه رواناب حوضه را به عهده دارند. همچنین، مجموع طول تمام آبراهه‌های هر یک از اشکال و فرآیندها اندازه‌گیری و بر مساحت آنها تقسیم شد که عدد حاصله تحت عنوان تراکم زهکشی برحسب کیلومتر در کیلومتر مربع در جدول (۱) آمده است.

پارامترهای اقلیمی مورد نیاز برای این مطالعه شامل بارندگی و دماست که برای این منظور از آمار هواشناسی ایستگاه‌های مندرج در شکل (۱) استفاده شده است. با به کارگیری مقدار متوسط بارندگی و ارتفاع آلتمتری متناظر (علیزاده، ۱۳۶۷، ۲۴۴) هر یک از ایستگاه‌ها، رابطه ارتفاع و بارندگی به صورت $P = -116 + 0.2784 H$ برآورد شده که در آن P بارندگی سالیانه برحسب میلی‌متر و H ارتفاع برحسب متر است. جهت دستیابی به میانگین دمای سالانه در نقاط مختلف ارتفاعی حوضه و میزان گرادیان دما در ارتفاعات از آمار ایستگاه‌های پلور، لتیان و همدان آبرد نیز استفاده شد و با ایجاد رابطه همبستگی، معادله $T = 24.44 - 0.007 H$ حاصل گردید. T میانگین دما برحسب درجه سانتی‌گراد و H ارتفاع به متر است. با توجه به ضریب همبستگی بالا و با استفاده از رابطه همبستگی و متوسط طبقات ارتفاعی، دما و بارندگی هر یک از اشکال و فرآیندها برآورد شده است.

پس از به دست آوردن اطلاعات مربوط به هر یک از اشکال، عوامل مؤثر در آنها با استفاده از روش‌های آماری رگرسیون چند متغیره بررسی شد. در این روش، تغییرات یکی از متغیرها را که تابع سایر متغیرهاست، متغیر وابسته و سایر متغیرها را متغیر مستقل می‌نامند. متغیر وابسته در اینجا اشکال فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای با نماد Y و متغیرهای مستقل به صورت عوامل مؤثر در آنها با علائم X_1, X_2, \dots نشان داده شده‌اند. با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS، داده‌های عوامل مورد نظر (به عنوان متغیرهای مستقل X) و شکل فرسایش و فرآیند دامنه‌ای (به عنوان متغیر وابسته Y) به مدل رگرسیونی وارد شده و تجزیه و تحلیل گردیده است.



شکل ۲: هیپسومتری حوضه سیاهرود

بحث و نتایج

با توجه به آنچه در روش کار گفته شد، اشکال مختلف فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای منطقه شناسایی، طبقه‌بندی و تعیین حدود گردید که نتیجه آن در شکل ۳ ارائه شده است. بخش اعظم سطح حوضه تحت تأثیر فرسایش سطحی یا صفحه‌ای قرار دارد که در اثر نیروی آب، بویژه عمل باران به وجود آمده است. با توجه به اهمیت کمتر این شکل فرسایش و پراکندگی آن در بیشتر سطح دامنه‌ها، مشخصات آن ارائه نشده و در تجزیه و تحلیل کمی نیز وارد نگردیده است. اشکال مختلف فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای که غلبه بیشتری داشته، حضور فعال‌تری را نشان می‌دهند، به لحاظ اهمیت آنها در منطقه به شرح زیر شناسایی و تجزیه و تحلیل شده‌اند:

۱- فرسایش شیاری^۸: این شکل فرسایش که شامل شیارهای کوچک به شکل u و v بر روی دامنه‌ها است، تحت تأثیر نیروی جنبشی رواناب و پس از وقوع فرسایش سطحی به وجود می‌آید. کاهش پوشش گیاهی و زها کردن دیم‌زارها (اراضی زراعی لخت) سبب توسعه آن در منطقه شده است. این شکل فرسایش به‌طور عمده در ارتفاعات کمتر از ۲۲۰۰ متر و در واحد تپه‌ماهوری با سازندهای کرج و زیارت پراکنده هستند. سایر ویژگی‌های مربوط به آن در جدول (۱) آمده است.

۲- سولیفلوکسیون^۹: به‌صورت جریان آرام مواد ریزدانه و سست است که از آب اشباع شده و در اثنای بارندگی‌های شدید که خاک فرصت لازم برای جذب آب را ندارد، به‌طرف پایین دامنه جابه‌جا می‌شود. نمونه‌ای از آن بر روی دامنه‌های مشرف به روستای «ایرا» دیده می‌شود که در اثر نفوذ آب باران و تحت تأثیر آبیاری زراعی در سازندهای کرج و شیل پدید آمده است.

۳- خزش^{۱۰}: سنگ‌های تخریبی در پای دامنه‌ها و خط‌الرأس‌های شمال و شمال‌شرقی حوضه به‌صورت واریزه‌های منفصل استقرار یافته، توسط پوشش گیاهی ضعیفی محافظت می‌شوند. در این ناحیه، به دلیل سختی زیاد آهک، واریزه‌ها به‌صورت بلوکی و قلوه‌سنگی بوده، خاک آن به میزان اندکی تحول یافته و دارای خلل و فرج زیاد و نفوذپذیری سریع

8- Rill Erosion

9- Solifluxion

10- Creep

است. تغییرات حرارت یا رطوبت در آنها، تغییرات حجم کافی برای ایجاد خزش فراهم می‌کند.

۴- لغزش^{۱۱}: در شکل‌گیری آن، وجود آب و سازند زمین‌شناسی حساس، نقش مهمی دارد. این پدیده روی سازندهای آهک مبارک و سازند زیارت در دامنه‌های شمالی مجاور رود ایرا کاملاً مشهود است. در این محدوده خاک‌های کم عمق و پوشش گیاهی متوسط قابل مشاهده است.

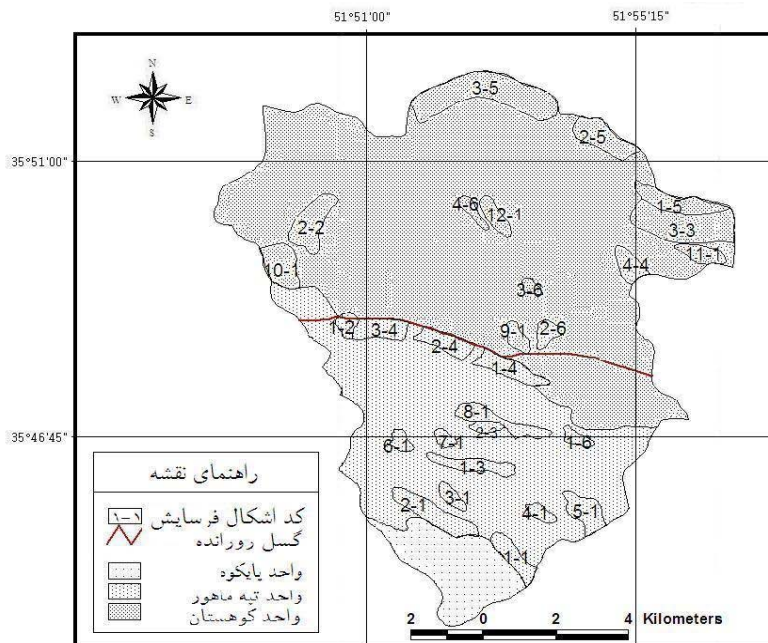
۵- ریزش یا سقوط سنگ‌ها^{۱۲}: قسمت‌های مهمی از شمال حوضه در آهک‌های لار و فاجان و با آب و هوای سرد و دوره یخبندان طولانی تحت‌تأثیر این نوع فرسایش قرار دارد. در اثر تخریب مکانیکی و فیزیکی زیاد در محدوده‌های مربوط به این فرآیند، شیب زمین بسیار تند و اراضی صخره‌ای فاقد خاک و نبات مشاهده می‌شود.

۶- فرسایش کنار رودخانه‌ای^{۱۳}: این شکل فرسایش مربوط به بستر و دیواره رودخانه‌هاست. در سازندهای سست زمین‌شناسی منطقه از قبیل آبرفت‌های کف و کناره رودخانه، بویژه در بخش‌هایی که رودخانه حالت مئاندر دارد و همچنین در ارتباط با شیب و عرض بستر رودخانه به‌وجود آمده است.

از عوامل مؤثر در ایجاد اشکال فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای یاد شده می‌توان به دما، بارش، نوع سازند، تراکم زهکشی، تعداد آبراهه، شیب و ارتفاع اشاره نمود که بسته به شرایط منطقه، میزان نقش هر یک از عوامل متفاوت است. با توجه به مطالعات انجام یافته و با ارزیابی عوامل فوق در منطقه، ویژگی‌ها و مشخصات هر یک از اشکال فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای به تفکیک تعیین و محاسبه شد که نتایج حاصله در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱: مشخصات اشکال فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای در حوضه سیاهرود

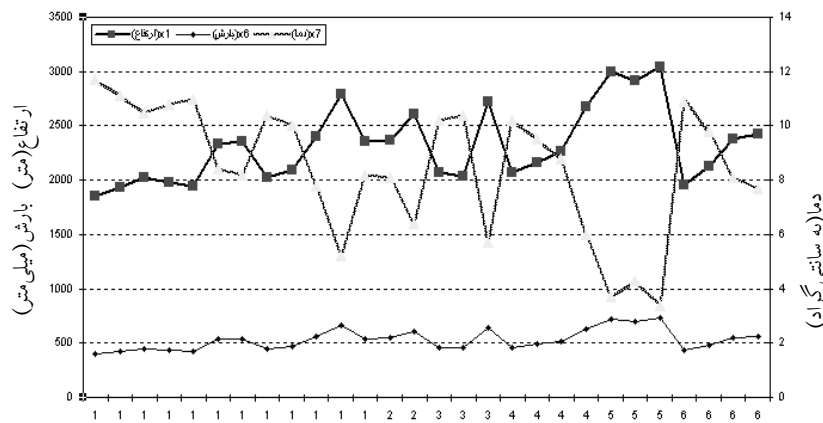
| شکل فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای | کد شکل و فرآیندها ضرایب Y | مساحت (هکتار) | ارتفاع از سطح دریا (متر) | ضریب ارتفاع | شیب (درصد) | تعداد آبراهه | تراکم زهکنی | نوع سازند | بارش (سانتی‌متر) | دما (سانتی‌گراد) |
|---------------------------------|------------------------------|---------------|--------------------------|-------------|------------|--------------|-------------|-----------|------------------|------------------|
| | | | | (X1) | (X2) | (X3) | (X4) | (X5) | (X6) | (X7) |
| فرسایش شیبی | ۱-۱ | ۳۴ | ۱۸۵۰ | ۱۲۰ | ۲۹/۴ | ۸ | ۵/۱۵ | ۴ | ۴۰ | ۱۱/۷ |
| | ۲-۱ | ۸۷ | ۱۹۳۰ | ۲۰۰ | ۲۵/۵ | ۱۲ | ۴/۸۵ | ۲ | ۴۲/۲ | ۱۱/۱ |
| | ۳-۱ | ۲۱/۵ | ۲۰۲۴ | ۲۹۴ | ۳۶ | ۲ | ۳/۵۳ | ۲ | ۴۴/۸ | ۱۰/۵ |
| | ۴-۱ | ۲۱ | ۱۹۸۰ | ۲۵۰ | ۳۸ | ۳ | ۳/۰۵ | ۲ | ۴۳/۶ | ۱۰/۸ |
| | ۵-۱ | ۴۸ | ۱۹۴۳ | ۲۱۳ | ۹/۶ | ۱۱ | ۶/۷۵ | ۶ | ۴۲/۶ | ۱۱ |
| | ۶-۱ | ۱۷ | ۲۳۳۱ | ۶۰۱ | ۲۹/۷ | ۴ | ۴/۸۲ | ۲ | ۵۳/۴ | ۸/۴ |
| | ۷-۱ | ۱۲/۵ | ۲۳۶۰ | ۶۳۰ | ۲۳/۵ | ۳ | ۲/۳۲ | ۲ | ۵۴/۲ | ۸/۲ |
| | ۸-۱ | ۶۲ | ۲۰۲۹ | ۲۹۹ | ۲۵/۷ | ۱۶ | ۶/۶۸ | ۶ | ۴۵ | ۱۰/۴ |
| | ۹-۱ | ۱۶ | ۲۰۹۷ | ۳۶۷ | ۳۳/۱ | ۳ | ۴/۷۵ | ۵ | ۴۶/۹ | ۱۰ |
| | ۱۰-۱ | ۷۲ | ۲۴۰۶ | ۶۷۶ | ۳۴/۴ | ۵ | ۱/۳۹ | ۶ | ۵۵/۵ | ۷/۸ |
| | ۱۱-۱ | ۳۰ | ۲۷۸۷ | ۱۰۵۷ | ۳۴/۳ | ۴ | ۲/۰۷ | ۴ | ۶۶/۱ | ۵/۲ |
| | ۱۲-۱ | ۳۲ | ۲۳۵۴ | ۶۲۴ | ۳۷/۳ | ۵ | ۲/۵ | ۵ | ۵۴ | ۸/۲ |
| سولیفلوکسیون | ۱-۲ | ۱۲ | ۲۳۷۰ | ۶۴۰ | ۳۳/۵ | ۲ | ۳/۳۳ | ۵ | ۵۴/۵ | ۸/۱ |
| | ۲-۲ | ۸۶ | ۲۶۰۹ | ۸۷۹ | ۳۶/۱ | ۵ | ۱/۶ | ۶ | ۶۱/۱ | ۶/۴ |
| خزش | ۱-۳ | ۵۵ | ۲۰۷۰ | ۳۴۰ | ۲۷/۳ | ۴ | ۰/۱۴ | ۲ | ۴۶/۱ | ۱۰/۲ |
| | ۲-۳ | ۱۵/۱۶ | ۲۰۴۰ | ۳۱۰ | ۱۷/۵ | ۲ | ۰/۲۵ | ۴ | ۴۵/۳ | ۱۰/۴ |
| | ۳-۳ | ۱۸۱ | ۲۷۱۹ | ۹۸۹ | ۳۴/۱ | ۷ | ۰/۶۶ | ۴ | ۶۴/۲ | ۵/۷ |
| لغزش | ۱-۴ | ۶۸ | ۲۰۶۹ | ۳۳۹ | ۳۴/۸ | ۸ | ۴/۱۲ | ۵ | ۴۶/۱ | ۱۰/۲ |
| | ۲-۴ | ۶۴ | ۲۱۶۴ | ۴۳۴ | ۳۵/۴ | ۵ | ۲/۸۴ | ۵ | ۴۸/۷ | ۹/۵ |
| | ۳-۴ | ۵۹ | ۲۲۷۰ | ۵۴۰ | ۳۰/۶ | ۷ | ۳/۹ | ۵ | ۵۱/۷ | ۸/۸ |
| | ۴-۴ | ۳۴ | ۲۶۸۰ | ۹۵۰ | ۴۳/۴ | ۵ | ۷/۳۵ | ۴ | ۶۳/۱ | ۶ |
| ریزش | ۱-۵ | ۱۰۲ | ۳۰۰۲ | ۱۲۷۲ | ۵۶ | ۲ | ۰/۲۹ | ۴ | ۷۲/۱ | ۳/۷ |
| | ۲-۵ | ۷۰/۵ | ۲۹۲۲ | ۱۱۹۲ | ۴۵/۳ | ۲ | ۰/۵۷ | ۴ | ۶۹/۸ | ۴/۳ |
| | ۳-۵ | ۱۹۸ | ۳۰۴۵ | ۱۳۱۵ | ۵۴/۵ | ۵ | ۰/۴۵ | ۴ | ۷۳/۲ | ۳/۴ |
| فرسایش کنار رودخانه‌ای | ۱-۶ | ۱۶ | ۱۹۶۰ | ۲۳۰ | ۲۲/۴ | ۷ | ۸/۵ | ۸ | ۴۳/۱ | ۱۰/۹ |
| | ۲-۶ | ۲۳ | ۲۱۲۸ | ۳۹۸ | ۲۹/۳ | ۷ | ۷/۳۹ | ۸ | ۴۷/۷ | ۹/۸ |
| | ۳-۶ | ۱۵ | ۲۳۷۵ | ۶۴۵ | ۴۰/۱ | ۳ | ۵/۰۶ | ۸ | ۵۴/۶ | ۸/۱ |
| | ۴-۶ | ۱۲/۵ | ۲۴۲۰ | ۶۹۰ | ۴۰/۱ | ۴ | ۹/۶ | ۸ | ۵۵/۹ | ۷/۷ |



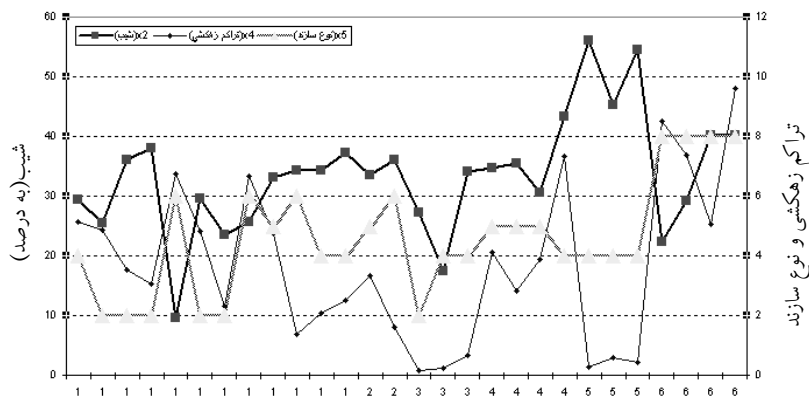
شکل ۳: پراکندگی اشکال فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای در حوضه سیاهرود

بر اساس داده‌های جدول مذکور و به منظور مقایسه و ارائه بهتر این ویژگی‌ها، نمودارهای مربوط به آنها تهیه و ترسیم و در ارتباط با اشکال و فرآیندهای فرسایش، تجزیه و تحلیل گردید (اشکال ۴ و ۵). با توجه به شکل ۴، رابطه بین ارتفاع و بارش همسو است؛ به طوری که هر چه ارتفاع زیاد شود، بارش هم افزایش می‌یابد، بین ارتفاع و دما نیز این رابطه منظم است، ولی حالت عکس دارد. در منطقه مورد مطالعه، فرآیند دامنه‌ای ریزش اغلب در ارتفاع حدود ۳۰۰۰ متری از سطح دریا مشاهده می‌شود. در مقابل، پراکندگی فرسایش شیبی و پس از آن فرسایش کنار رودخانه‌ای در طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰ متری از سطح دریا بیشتر است. در شکل ۵، حداکثر شیب در پدیده ریزش به میزان ۵۶٪ محاسبه شده و حداقل آن به شکل فرسایش شیبی مربوط بوده است. تراکم زهکشی در اشکال فرسایش کنار رودخانه‌ای با ضریب $9/6$ به حداکثر مقدار خود رسیده ولی فرآیند دامنه‌ای خزش با ضریب $0/14$ دارای کمترین میزان تراکم زهکشی است. در خصوص با عامل سنگ‌شناسی یا نوع سازند که یک متغیر کیفی است، طبق امتیازبندی با

عدد و رقم نشان داده شده است. این کدبندی براساس مقاومت آنهاست. برای مثال، کد ۲ به سنگ با مقاومت بالا تعلق گرفته است. بر این اساس، فرسایش کناره رودخانه‌ای در سنگ‌های سست و رسوبی کواترنری با امتیاز ۸ توسعه یافته و ریزش و خزش در سنگ‌های مقاوم با امتیاز ۲ تا ۴ رخ داده است، ولی در فرسایش شیاری روند منظمی دیده نمی‌شود.



شکل ۴: نمودار ارتفاع، بارش و دما در اشکال مختلف فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای



شکل ۵: نمودار شیب، تراکم زهکشی و نوع سازند اشکال فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای

بررسی آماری اشکال فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای و تعیین روابط بین متغیرها در تجزیه و تحلیل کمی داده‌ها، به منظور کسب اطلاعات دقیق‌تر از روش رگرسیون چند متغیره استفاده شده که در آن بین نوع شکل و عوامل مؤثر بر آن، رابطه کمی برقرار

شد. نتایج حاصله در جدول‌های ۲ تا ۴ عیناً ارائه شده است. عبارت **Multiple R** در جدول ۲ مقدار ضریب همبستگی را ۷۶/۵۸ درصد نشان می‌دهد و عبارت **R Square** بیانگر آن است که ۵۸/۶ درصد تغییرات بین مشاهدات، به وسیله این مدل رگرسیونی تبیین شده است. همچنین با توجه به جدول ۳ و میزان معناداری ((**Sig T**) در روش یک مرحله‌ای نمی‌توان بین تمام متغیرها ارتباط رگرسیونی برقرار کرد. از این رو، در این تحقیق، از روش حذف تدریجی متغیرها^{۱۴} استفاده شده است. در این روش، ابتدا کلیه متغیرهای مستقل به روش جبری وارد معادله شده و سپس به ترتیب، متغیری که کمترین تأثیر و پایین‌ترین سطح معناداری را داشته، از معادله خارج گردید. در نهایت، متغیرهایی در معادله باقی مانده که دارای حداقل سطح معناداری مورد قبول باشند.

بنابراین، با انتخاب روش یادشده، تنها تعدادی از متغیرهای مستقل در مدل رگرسیونی شرکت داده می‌شوند (سماعیلیان، ۱۳۸۴، ۲۳۳). اطلاعات جدول ۳، پارامترهایی را که نقش اساسی و تعیین‌کننده در ایجاد اشکال مختلف فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای دارند، نشان می‌دهد. اطلاعات جدول ۴ بیانگر آن است که در بین متغیرهای وارد شده به مدل، متغیر **X6** (دما) با سطح معناداری **SigT=0.371** اهمیت کمتری دارد. دومین متغیر کم‌اهمیت در مدل، متغیر **X3** (تراکم زهکشی) است که با سطح معناداری **SigT=0.95** شناسایی شده است. به همین ترتیب، پس از آن متغیر **X4** (تعداد آبراهه‌ها) قرار دارد که از مدل حذف شده است. نتایج حاصله به صورت سه مدل بوده و مدل نهایی رگرسیون با چهار متغیر **X5** (نوع سازند)، **X1** (ارتفاع)، **X7** (بارش) و **X2** (شیب) ساخته شده است.

$$y = -251.820 + (0.138x_1) + (0.071x_2) + (0.007x_3) + (0.011x_4) + (0.685x_5) + (19.872x_7)$$

$$y = -247.688 + (0.136x_1) + (0.070x_2) + (0.014x_4) + (0.684x_5) + (19.547x_7)$$

$$y = -248.137 + (0.136x_1) + (0.070x_2) + (0.694x_5) + (19.585x_7)$$

جدول ۲: ضرایب همبستگی و ضرایب تعیین مربوط به معادلات رگرسیون

(Model Summary)

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1 | .766 | .586 | .468 | 1.41328 |
| 2 | .766 | .586 | .492 | 1.38092 |
| 3 | .766 | .586 | .514 | 1.35086 |

a Predictors:(Constant), X7, X5, X3, X4, X2, X1

b Predictors:(Constant), X7, X5, X4, X2, X1

c Predictors:(Constant), X7, X5, X2, X1

جدول ۳: ضرایب معادلات رگرسیون و شناسایی متغیرهای مهم

Coefficients(a)

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | -251.820 | 131.984 | | -1.908 | .070 |
| | x1 | .138 | .073 | .24567 | 1.899 | .071 |
| | x2 | .071 | .043 | .357 | 1.630 | .118 |
| | x3 | .007 | .111 | .012 | .064 | .950 |
| | x4 | .011 | .149 | .015 | .071 | .944 |
| | x5 | .685 | .186 | .676 | 3.689 | .001 |
| | x7 | 19.872 | 10.492 | 24.484 | 1.894 | .072 |
| 2 | (Constant) | -247.688 | 112.227 | | -2.207 | .038 |
| | x1 | .136 | .062 | .24166 | 2.190 | .039 |
| | x2 | .070 | .041 | .354 | 1.715 | .100 |
| | x4 | .014 | .137 | .019 | .099 | .922 |
| | x5 | .684 | .180 | .674 | 3.804 | .001 |
| | x7 | 19.547 | 8.950 | 24.083 | 2.184 | .040 |
| 3 | (Constant) | -248.137 | 109.695 | | -2.262 | .033 |
| | x1 | .136 | .061 | .24202 | 2.244 | .035 |
| | x2 | .070 | .040 | .356 | 1.772 | .090 |
| | x5 | .694 | .144 | .684 | 4.823 | .000 |
| | x7 | 19.585 | 8.747 | 24.130 | 2.239 | .035 |

a Dependent Variable: y

جدول ۴: حذف متغیرهای کم‌اهمیت x3، x6 و x4 از مدل به روش حذف تدریجی متغیرها

Excluded Variables(d)

| Model | | Beta In | t | Sig. | Partial Correlation | Collinearity Statistics |
|-------|----|------------|-------|------|---------------------|-------------------------|
| | | | | | | Tolerance |
| 1 | x6 | -52.236(a) | -.915 | .371 | -.201 | .000 |
| 2 | x6 | -50.029(b) | -.925 | .365 | -.198 | .000 |
| | x3 | .012(b) | .064 | .950 | .014 | .537 |
| 3 | x6 | -46.992(c) | -.906 | .375 | -.190 | .000 |
| | x3 | .017(c) | .093 | .926 | .020 | .599 |
| | x4 | .019(c) | .099 | .922 | .021 | .521 |

a Predictors in the Model:(Constant), x7, x5, x3, x4, x2, x1

b Predictors in the Model:(Constant), x7, x5, x4, x2, x1

c Predictors in the Model:(Constant), x7, x5, x2, x1

d Dependent Variable: y

نتیجه گیری

فرآیندهای فرسایشی متنوع هستند و با وارد شدن این فرآیندها از قبیل خزش، فرسایش شیاری و غیره، تغییرات دامنه‌ها نیز زیاد می‌شود (Chorley et al, 1379, 120). این تحقیق به منظور درک الگوهای پیچیده‌ی طبیعت و کشف روابط بین متغیرهای اشکال فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای حوضه سیاهرود (به‌عنوان داده‌های مشاهده شده) و عوامل مؤثر در ایجاد این اشکال (داده‌های محاسبه شده) انجام گرفته است.

نتایج حاصله بیانگر آن است که مهم‌ترین اشکال فرسایشی منطقه، فرسایش شیاری و فرسایش کنار رودخانه‌ای است و فرآیندهای دامنه‌ای حاکم بر منطقه شامل سولیفلوکسیون، خزش، لغزش و ریزش هستند که موقعیت و وسعت تحت تأثیر به صورت جدول و نقشه ارایه شده است. با توجه به جدول (۱) و شکل (۴) بسته به شرایط منطقه، میزان نقش هر یک از عوامل مؤثر در ایجاد اشکال و فرآیندها متفاوت است. پدیده ریزش در ارتفاعات ۳۰۰۰ متری شکل غالب حرکات دامنه‌ای بوده، فرسایش کنار رودخانه‌ای و شیاری در ارتفاع حوالی ۲۰۰۰ متری تسلط دارند. اثر عامل شیب در فرآیندهای مختلف دامنه‌ای و اشکال فرسایش یکسان نبوده و بالاترین شیب در پدیده ریزش حدود ۵۶ درصد و کمترین میزان شیب در محدوده فرسایش شیاری ۹/۶ درصد محاسبه شده است.

در خصوص نقش نوع سازند، فرسایش کنار رودخانه‌ای بیشتر در سنگ‌های سست و رسوبی کواترنر و پدیده ریزش و خزش در سنگ‌های مقاوم نظیر آهک لار و فاجان گسترش یافته است، در حالی که در فرسایش شیاری از این دیدگاه روند معینی مشاهده نگردید. در بررسی کمی اشکال و فرآیندها با استفاده از تحلیل‌های رگرسیون چندمتغیره و با توجه به میزان معناداری در روش حذف تدریجی متغیرها، از میان تمام متغیرهای وارد شده و عدد ثابت، می‌توان بین X_5 (نوع سازند)، X_1 (ارتفاع)، X_7 (بارش) و X_2 (شیب)، ارتباط رگرسیونی برقرار کرد. برآورد متغیر وابسته؛ یعنی شکل فرسایش و نوع فرآیندهای دامنه‌ای طبق رابطه‌ی زیر حاصل و تنظیم شده است:

$$y = -248.137 + (0.694x_5) + (0.136x_1) + (19.585x_7) + (0.070x_2), R^2 = 0.59$$

در این رابطه، عدد $-248/137$ ضریب ثابت مدل، $0/694$ ضریب نوع سازند، $0/136$ ضریب ارتفاع، $19/585$ ضریب بارش و $0/070$ ضریب شیب هستند. ضریب همبستگی بین متغیر وابسته (شکل فرسایش و فرآیند دامنه‌ای مشاهده شده در منطقه) و متغیرهای مستقل (عوامل محاسبه شده) $76/6$ درصد ($r = 0/766$) است و بیانگر آن است که نتایج حاصله به همین میزان با واقعیت همخوانی دارد.

به این ترتیب، با استفاده از پارامترهای نوع سازند، ارتفاع، بارش و شیب دامنه‌ها بهتر می‌توان چگونگی ایجاد، تحول و تشدید اشکال مختلف فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای را مطالعه کرد. به عبارتی، این عوامل مشخص می‌کنند که احتمال وقوع کدام یک از اشکال فرسایش (شیاری و کنار رودخانه‌ای) و فرآیندهای دامنه‌ای موجود در منطقه (سولیفلوکسیون، خزش، لغزش، ریزش) بیشتر است و بر همین اساس نیز می‌توان در جهت کنترل یا تعدیل آثار زیانبار پدیده‌های مربوطه برنامه‌ریزی نمود.

از سوی دیگر، عواملی چون جنس سنگ و یا ارتفاع از سطح دریا، ضمن اینکه در تعیین شکل فرسایش و نوع فرآیند دامنه‌ای نقش اساسی دارند، با تغییرات احتمالی خود می‌توانند، موجب تنوع مورفولوژی دامنه‌ها و حالات مختلف فرآیندهای دامنه‌ای و گوناگونی در شکل فرسایش شوند. تغییرات ارتفاع نه تنها به خودی خود، نقش مهمی در تکامل و تکوین خاک ایفا می‌کنند، بلکه پارامترهای حساس جوی چون رطوبت و دما را نیز تغییر می‌دهند. لذا این عامل به عنوان یک تغییردهنده کلیما در سطح ناحیه‌ای مطرح است (رامشت و سیف، ۱۳۷۹، ۴۲).

آنچه مسلم است، نیروی جاذبه زمین به طور دائم بر روی تمام سنگ‌های سطح زمین تأثیر می‌گذارد، ولی فقط تحت شرایط خاص زمین‌شناسی، آب و هوایی و غیره قادر است آنها را حرکت دهد. عوامل مهمی مانند شیب و ... هر چند که از لحاظ ایجاد نیروی اولیه در فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای نقش تعیین‌کننده دارند، ولی در تنوع اشکال فرسایش و حرکات مواد دامنه‌ای در مقایسه با مقدار رطوبت یا میزان آب در بین ذرات و غیره، نقش کمتری دارند. از این رو، نمی‌توان آنها را به عنوان پایه و اساس طبقه‌بندی فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای مورد استفاده قرار داد.

منابع و مآخذ

۱. احمدپور، مریم (۱۳۷۵)؛ هیدروژئومورفولوژی کمی و ارتباط آن با فرسایش در حوضه نورود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۲۴ ص.
۲. احمدی، حسن (۱۳۷۸)؛ ژئومورفولوژی کاربردی، ج ۱، فرسایش آبی، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۸۸ ص.
۳. احمدی، حسن. فیض‌نیا، سادات (۱۳۷۸)؛ سازندهای دوره کواترنری (مبانی نظری و کاربردی آن در منابع طبیعی)، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۷ ص.
۴. اسماعیلیان، مهدی (۱۳۸۴)؛ راهنمای جامع SPSS 12، چاپ دوم، انتشارات ناقوس، ۵۹۹ ص.
۵. چورلی، ریچارد و دیگران (۱۳۷۹)؛ ژئومورفولوژی، ج سوم، فرآیندهای دامنه‌ای، آبراه‌های، ساحلی و بادی، ترجمه احمد معتمد با همکاری ابراهیم مقیمی، انتشارات سمت، ۴۵۵ ص.
۶. رامشت، م. ح. و سیف، عبدالله (۱۳۷۹)؛ جغرافیای خاکها، دانشگاه اصفهان، ۳۰۹ ص.
۷. رفاهی، حسینقلی (۱۳۷۹)؛ فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۱۹ ص.
۸. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ لواسان بزرگ و پارچین به شماره‌های ۱-۶۳۶۱ و ۱۱-۶۳۶۱.
۹. سازمان نقشه‌برداری کشور، عکس‌های هوایی منطقه (مقیاس ۱:۲۰۰۰۰).
۱۰. علیزاده، امین (۱۳۶۷)؛ اصول هیدرومورفولوژی کاربردی، چاپ دوم، بنیاد فرهنگی آستان قدس رضوی، ۵۱۸ ص.
۱۱. محمودی، فرج‌الله (۱۳۸۰)؛ ژئومورفولوژی دینامیک، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۳۲۶ ص.
12. Durgin, P. B. (1977). **Landslides and the Weathering of granitic rocks**, Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, vol. 3, 127- 132.
13. Horton, R. E. (1945). **Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative Morphology**. Bull. Geol. Soc. Amer. Vol. 56, 257- 370.
14. Ohmori, H. Sugai, T. (1995). **Toward geomorphometric models for estimating landslide dynamics and forecasting landslide occurrence in Japanese mountains**. Z. Geomorph. N. F. Suppl. -Bd. 101-149.
15. Pierson, L, AC.G. E. Gullixson, C. G. E. and Chassie, R. (2001). **Rockfall catchment area design guide, for Oregon Department of Transportation and Federal Highway Administration**, 78PP.
16. Selby, M. J., (1993). **Hillslope Materials and Processes**, Second Ed. Oxford University Press, 451 PP.
17. Smith, D. D. and Wischmeier, W. H. (1962). **Rainfall Erosion, Advances in Agronomy**, New York, Academic Press, 108-148.
18. Strahler, A. N. (1968). **Quantitative Geomorphology**, in R1 W. Fair bridg ed., Encylopedis of Geomorphology, New York, Reinhold, Pp.
19. Thommas, M.b. Voinovich, G. V. and Anderson (1995). **Landslide in Ohio**. The division of Geological survey Geofacts series, 4PP.