بررسی تغییرات مکانی میزان رسوب‌دهی در ارتباط با پراکنش اجزاء لندفرمی (مطالعه موردی حوضه آبریز رودخانه قره‌سو)

عقیل مددی*: *استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده‌ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی ، اردبیل*

مرتضی قراچورلو: *دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل*

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۵)

چکیده

این پژوهش با هدف آگاهی از چگونگی روابط بین رسوب‌دهی (متغیر وابسته) و پراکنش اجزاء لندفرمی (متغیر مستقل) در سطح حوضه آبریز قره‌سو واقع در استان اردبیل انجام شد. داده‌های مورد استفاده عمدتاً شامل آمار نسبتاً دقیق رسوب‌دهی سالانه در ۱۹ ایستگاه هیدرومتری و مدل رقومی ارتفاع (DEM) ناحیه با دقت ۳۰ متر بود. متغیرهای مستقل (۶ متغیر) از طریق طبقه‌بندی لندفرمی و تعیین درصد مساحت شش جزء لندفرمی شامل ستیغ، بالادست دامنه، میان‌دست دامنه، پنجه دامنه، سکو و درّه به دست آمد. متغیر وابسته (رسوب‌دهی ویژه) نیز از طریق مقادیر رسوب‌دهی سالانه‌ی ایستگاه‌های هیدرومتری استخراج شد. برای بررسی کامل‌تر و دقیق‌تر روابط متغیرها، از آزمون‌های آماری هم ناپارامتری (کای دو) و هم پارامتری (همبستگی پیرسون و اسپیرمن) استفاده شد. در گام نخست، نتایج تحلیل آمار ناپارامتری نشان داد که به غیر از دو لندفرم درّه و ستیغ، بین توزیع طبقات رسوب‌دهی و توزیع طبقات اجزاء لندفرمی روابط معنی‌داری وجود دارد. در این بین به منظور تکرار معنی‌داری، اهمیت و قطعیت رابطه‌ی لندفرم میان‌دست دامنه طی سه آزمون مختلف مشخص شد. هر چند نتایج تحلیل همبستگی پیرسون حاکی از روابط مستقیم لندفرم‌های ستیغ، میان‌دست دامنه و درّه با رسوب‌دهی ویژه و در مقابل، روابط معکوس لندفرم‌های بالادست دامنه، پایین‌دست دامنه و سکو با رسوب‌دهی است، اما روابط معنی‌داری حاصل نشد. بالاترین و پایین‌ترین ضرایب همبستگی اجزاء لندفرمی با میزان رسوب‌دهی به ترتیب به لندفرم‌های میان‌دست دامنه (R= 0/4) و بالادست دامنه (R= -0/03) تعلق داشت. نتایج آخرین آزمون یعنی آزمون همبستگی اسپیرمن، بار دیگر همچون آزمون کای نشان داد که بین سه لندفرم سکو، پایین‌دست دامنه و میان‌دست دامنه با رسوب‌دهی ویژه‌ی حوضه‌ها روابط معنی-داری وجود دارد. بنابراین چنین نتیجه گرفته شد که طبقه‌بندی متغیرها به صورت اسمی و ترتیبی از اثرات باقیمانده‌ها کاسته و باعث معنی‌دارتر شدن روابط متغیرها شده‌است. به‌علاوه، تأثیر آشکار و مشارکت بیشتر میان‌دست دامنه در رسوب‌دهی حوضه‌ها، لزوم اولویت اقدامات آبخیزداری و حفاظت خاک را در این طبقه‌ی لندفرمی گوشزد کرد.

واژگان کلیدی: تحلیل آماری، توزیع لندفرمی، توپوگرافی، رسوب‌دهی، قره‌سو.

* نویسنده مسئول: a_madadi@uma.ac.ir

۱ـ مقدمه

پدیده‌ی فرسایش و رسوب‌دهی در حوضه‌های آبخیز، مشکلات بسیاری در زمینه‌ی بهره‌برداری سالم و پایدار از منابع آب و خاک ایجاد کرده‌است و یکی از اصلی‌ترین تهدیدها در برابر پایداری اقتصادی و محیط‌زیستی دنیا محسوب می‌شود (Noori et al, 2016). کارشناسان زمین علوم از دیرباز به فرایند فرسایش خاک و انتقال رسوب به عنوان عامل تأثیرگذار در کاهش حاصلخیزی و هدررفت خاک، پر شدن مخازن سدها، گرفتگی و انسداد مجاری آب، گل‌آلود کردن آب رودخانه‌ها و کاهش کیفیت آب توجه داشته‌اند (Motamedi and Azari, 2018). در همین راستا محققان، مهندسان و طراحان با ارزیابی و برآورد میزان فرسایش از طریق مدل‌های تجربی مختلف می‌کوشیدند به کاهش آثار و پیامدهای زیانبار آن بپردازند. این ارزیابی بر اساس برونداد آن یعنی «بار رسوبی» تولیدی ـ که معمولاً در خروجی حوضه‌ها اندازه‌گیری می‌شود و به عنوان معیاری از فرسایش اراضی بالادست حوضه به کار می‌رود ـ آسان‌تر و مفیدتر می‌باشد. ایران از جمله کشورهایی است که قسمت اعظم آن، خشک و نیمه‌خشک است و با مسائل بسیاری در خصوص منابع آب و خاک روبه‌رو می‌باشد. میانگین فرسایش در ایران ۴/۳ برابر متوسط فرسایش در جهان است (Zangane asadi et al, 2019).

اتخاذ رویکرد نظام‌مند در تحلیل و مدل‌سازی رخدادها و پدیده‌های محیط‌زیستی حوضه‌ها، اصلی ضروری در مدیریت و برنامه‌ریزی بهینه‌ی حوضه‌های آبخیز محسوب می‌شود. توسعه‌ی مدل‌های رگرسیونی پیش‌بین رسوب‌دهی که تغییرات فضایی رسوب‌دهی را با خصوصیات اقلیمی، زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، پوشش گیاهی و مورفومتری حوضه بالادست مرتبط می‌سازد (Rompaey et al, 2005)، از جمله روش‌های متداول و موفق در این زمینه بوده‌است. اما نکته‌ی مهمی که در تجزیه و تحلیل ناحیه‌ای تغییرات رسوب‌دهی بایستی بدان توجه داشت، داشتن دید سیستمی به کل فرایند فرسایش (تخریب، انتقال و رسوب‌گذاری) است. در این راستا تأثیر گسترده و شگرف لندفرم‌ها بر شرایط اقلیمی، هیدرولوژی و پدولوژی و در پی آن کاربری و پوشش زمین، باعث شده به تبیین رابطه‌ی بین اشکال، مواد و فرایندها (اساس ژئومورفولوژی سیستمی) در قالب لندفرمی و اجزاء تشکیل‌دهنده‌ی آن توجه ویژه‌ای شود؛ برای مثال، اجزاء لندفرمی مرتفعات به دلیل شیب زیاد و رواناب سریع و فرساینده، وجود خاک نارس و کم‌عمق یا نبود آن، رشد و توسعه‌ی ضعیف پوشش گیاهی و نوسانات شدید اقلیمی، بیشتر در معرض تخریب و فرسایش هستند و از این لحاظ آسیب‌پذیری زیادی دارند. پیگیری و تشخیص فرایندهای مختلف فرسایش و تولید رسوب در گرادیان‌های ارتفاعی و گستره‌ی اجزاء لندفرمی گوناگون، ضمن اشاره به رابطه‌ی متقابل فرم ـ فرایند می‌تواند دید جامع‌تر و عملی‌تری از فرایندهای مذکور در پهنه‌ی حوضه‌های آبخیز فراهم سازد.

Rieke-Zapp و Nearing (۲۰۰۵) برای بررسی اثرات شکل دامنه بر کم و کیف فرسایش، از مدل رقومی ارتفاع فتوگرامتری استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد که درجه‌ی فرسایش با فاکتورهای تندی و طول شیب و شرایط بالادست دامنه مرتبط می‌باشد و میزان فرسایش شیاری و رسوب‌دهی، از بالادست دامنه به سمت پنجه دامنه کاهش می‌یابد. مطالعه‌ی Restrepo و همکاران (۲۰۰۹) در خصوص اثرات عوامل ژئومورفیک بر بار رسوب معلق رودخانه‌های کلمبیا نشان داد که ضریب همبستگی بیشینه ارتفاعی با رسوب‌دهی ویژه برابر با ۰/۴ بود. همچنین حوضه‌های با شیب کم دامنه‌ها و سیلاب‌دشت بزرگ‌تر، رسوب‌دهی کمتر و ظرفیت ذخیره رسوب بیشتری داشت. نتایج تحلیل رگرسیونی

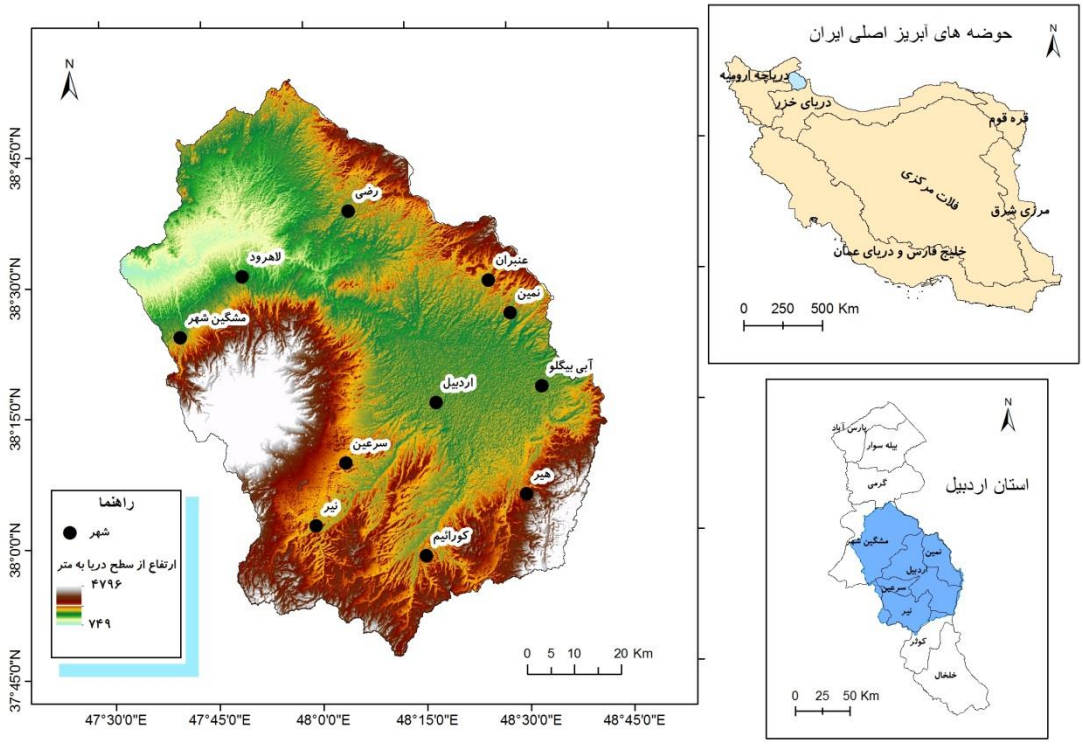
روابط بین خصوصیات ژئومورفیک و رسوب‌دهی در ۲۹ حوضه منتخب فلات لسی چین توسط Zhang و همکاران (۲۰۱۵)، حاکی از وجود رابطه‌ی مستقیم بین ناهمواری و شیب حوضه با میزان رسوب‌دهی بود. Karalis و همکاران (۲۰۱۸) نیز به بررسی رابطه‌ی متغیرهای مختلف اقلیمی، زمین‌شناسی، توپوگرافی و ژئومورفولوژی با میزان رسوب‌دهی حوضه‌های کوهستانی کشور یونان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که متغیرهای شیب، طول دامنه و ارتفاع متوسط با رسوب‌دهی حوضه‌ها همبستگی خوبی (ضریب همبستگی به ترتیب برابر با ۰/۸۷، ۰/۸۵ و ۰/۶۴) دارد. نتایج مطالعه‌ی Sarhangi و همکاران (۲۰۰۸) در حوضه آبخیز زارم‌رود نشان داد که از بین عوامل توپوگرافی، شیب زمین، بیشترین همبستگی (R = 0/42) را با فرسایش داشت؛ در حالی که بین ارتفاع و شدت فرسایش ارتباط معنی‌داری وجود نداشت. Mohamad Khan و همکاران (۲۰۱۱) برای بررسی شدت فرسایش در طبقات مختلف شیب در حوضه آبخیز سد لتیان، از آزمون آماری مربع کای استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد که شیب‌های بین ۲۰ تا ۴۰ درصد، با احتمال ۹۹ درصد دارای حداکثر شدت فرسایش بود. Yousefi (۲۰۱۶) از طریق اجرای آزمون ناپارامتری کروسکال والیس به تفاوت مشخص و معنی‌داری طبقات مختلف شیب، ارتفاع و جهت دامنه به جهت اشکال فرسایش آبی پی برد. Mokarram و همکاران (۲۰۱۷) در پیگیری و کاوش رابطه بین واحدهای لندفرمی حوضه آبخیز نازلوچای و فرسایش‌پذیری آنها به این نتیجه رسیدند که لندفرم‌های دره باز و زهکش‌های مرتفع دارای بیشترین فرسایش‌پذیری است.

با توجه به اهمیت موضوع پیش رو و ضرورت بهره‌گیری از تحلیل‌های رقومی سطح زمین در جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی فرایندهای فرسایشی و تولید رسوب، این پژوهش به تجزیه و تحلیل ارتباط اجزاء و واحدهای لندفرمی با تغییرات میزان رسوب‌دهی در گستره‌ی حوضه آبریز رودخانه‌ی قره‌سو پرداخت. در این راستا، کاربست ترکیبی آمار پارامتری و ناپارامتری در جهت کشف و تعیین روابط بین رسوب‌دهی و اجزاء لندفرمی می‌تواند موجب تمایز این پژوهش با تحقیقات قبلی باشد؛ چرا که در تحقیقات پیشین، تنها یکی از این روش‌ها برای کشف و تبیین روابط متغیرهای مذکور قابل‌توجه بوده‌است. اجرای آزمون ناپارامتری به عنوان مقدمه و مکملی برای آزمون پارامتری، می‌تواند برای تبیین کامل‌تر و دقیق‌تر روابط متغیرها قابل‌توجه قرار گیرد. علاوه بر ضرورت روش‌شناختی پژوهش، ضرورت موضوعی نیز در خصوص حوضه آبریز قره‌سو ــ که یکی از حوضه‌های در معرض فرسایش و رسوب‌دهی واقع در شمال غرب کشور و استان اردبیل است ــ موجبات اجرای پژوهش حاضر را فراهم ساخت. نظر به اثرات زیانبار بار رسوب تولیدی در این حوضه و ورود خسارت به زمین‌های کشاورزی در محدوده‌ی شهرستان‌های اردبیل، مشکین‌شهر، نیر و نمین و تأسیسات مهندسی و آبیاری موجود، آگاهی از وضعیت کمی و کیفی فرسایش و تولید رسوب در زمینه‌ی پراکنش اجزاء لندفرمی ضروری می‌نماید.

۲ـ منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه آبریز قره‌سو با مساحت بالغ بر ۷۴۳۵ کیلومترمربع به ازای ایستگاه دوست‌بیگلو، در مختصات جغرافیایی ′۳۱ °۴۷ تا ′۴۳ °۴۸ طول شرقی و ′۴۵ °۳۷ تا ′۵۴ °۳۸ عرض شمالی واقع شده‌است (شکل ۱). این حوضه به لحاظ تقسیمات حوضه‌های اصلی کشور، در داخل حوضه بزرگ دریای خزر و به لحاظ تقسیمات حوضه‌های درجه دو، در حوضه

آبریز ارس قرار دارد. به لحاظ تقسیمات سیاسی نیز این حوضه در قسمت میانی استان اردبیل جای دارد و سراسر شهرستان‌های اردبیل، نمین، نیر و سرعین و بخشی از شهرستان‌های مشگین‌شهر و کوثر را شامل می‌شود.



شکل ۱: نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز رودخانه‌ی قره‌سو

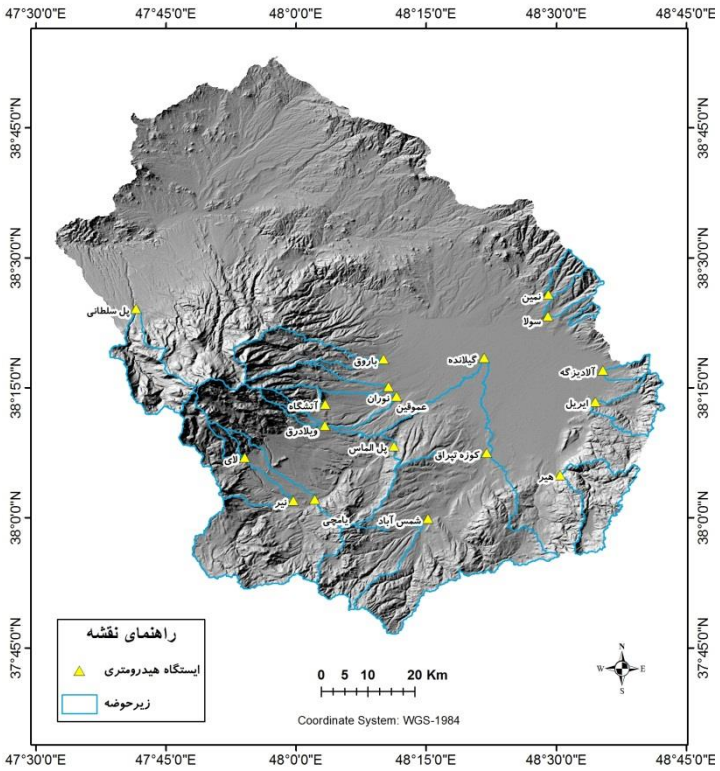
حوضه آبریز قره‌سو با توجه به قرار گرفتن آن بین رشته‌کوه‌های تالش (شرق)، سبلان (غرب)، صلوات‌داغی (شمال) و بزغوش (جنوب و جنوب غرب)، از واحدهای توپوگرافی مشخصی تشکیل شده‌است: کوهستان‌های ستبر و برخاسته متشکل از سازندهای آندزیتی ـ داسیتی، کوهپایه‌های بادبزنی و پادگانه‌ای متشکل از رسوبات سیلابی و حرکات دامنه‌ای و در نهایت، دشت فروافتاده و رسوبی اردبیل که مقصد نهایی مواد فرسایش‌یافته‌ی مرتفعات می‌باشد. دامنه ارتفاعی زیاد حوضه که برابر با ۴۰۱۲ متر می‌باشد، به انرژی بالقوه برای فرایندهای مورفوژنز، دست کم در حد فاصل قله‌ی سبلان (۴۸۰۰ متر) تا دشت اردبیل (ارتفاع متوسط ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ متر) اشاره دارد. با این وجود، حدود ۸۰ درصد حوضه در ارتفاع زیر ۲۰۰۰ متر واقع شده‌است. دامنه شیب حوضه نیز از صفر تا ۶۳ درجه متغیر است که در این بین، حاکمیت با پهنه‌های نسبتاً هموار می‌باشد. ویژگی‌های ناهمواری‌ها بسیاری از وجوه محیطی این حوضه را تحت-تأثیر قرار داده‌است که در مرحله‌ی نخست، وضعیت اقلیمی آن می‌باشد. با وجود اقلیم نیمه‌خشک حاکم بر حوضه قره-سو، میزان بارش دریافتی مرتفعات و نواحی رو به بادهای رطوبت‌زا (غرب سبلان و شرق تالش) بیش از نواحی پست و بادپناهی (غرب تالش و شرق سبلان) است.

۳ـ مواد و روش

پژوهش حاضر به لحاظ هدف، از نوع کاربردی و از نظر روش، از نوع همبستگی است. در اجرای این پژوهش از منابع و اسناد مختلف کتابخانه‌ای شامل آمار بار رسوب معلق، نقشه‌های توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاع و تحقیقات مستند منطقه‌ای استفاده شد. جامعه‌ی آماری، مشتمل بر پهنه‌ی حوضه آبریز رودخانه قره‌سو و جامعه‌ی نمونه، مشتمل بر ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در حوضه یا به عبارتی زیرحوضه‌های بالادست این ایستگاه‌ها است که به دلیل داشتن آمار کافی و قابل اطمینان انتخاب شد. برای دست‌یابی به متوسط رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها، پایه زمانی مشترک ۱۴ ساله (۱۳۸۲- ۱۳۹۵) مدنظر قرار گرفت. مشخصات ۱۹ زیرحوضه‌ی منتخب ـ که بیشتر زیرحوضه‌های دارای ایستگاه هیدرومتری قره‌سو را شامل می‌شود ـ در جدول ۱ ذکر شد. همچنین موقعیت زیرحوضه‌ها در شکل ۲ نمایان است. با توجه به هدف پژوهش سعی شد تا آزمون روابط دوسویه بین رسوب‌دهی و توزیع اجزاء یا طبقات لندفرمی، بر پایه‌ی تحلیل‌های آماری گسترده و تلفیقی از روش‌های آماری ناپارامتری و پارامتری صورت گیرد تا کاربست‌پذیری نتایج افزایش یابد.

جدول ۱: مشخصات زیرحوضه‌های حوضه آبریز رودخانه‌ی قره‌سو

نام ایستگاه	نام زیرحوضه	رسوب‌دهی ویژه (تن بر کیلومترمربع در سال)	مساحت (کیلومترمربع)	محیط (کیلومتر)	ارتفاع متوسط (متر)	شیب متوسط (درصد)
آتشگاه	نوران‌چای	۱۴/۱۷	۲۵	۲۹/۱	۲۲۴۵	۲۹/۰
آلادیزگه	قره‌سو	۱۷/۴	۲۳/۷	۳۱	۱۴۶۴	۱۷/۲
ایریل	سقزچی‌چای	۳/۹	۸۱/۳۷	۶۵/۱	۱۶۴۵	۲۱/۷
باروق	شهریورچای	۶/۱	۱۲۷/۲	۸۶/۶	۲۴۵۷	۲۷/۱
پل الماس	بالخلوچای	۳/۷۵	۱۰۳۲/۲۴	۲۱۳/۹	۲۱۱۰	۱۹/۳
پل سلطانی	خیاوچای	۲۵/۴۴	۱۳۳/۳۶	۸۶/۷	۲۶۹۴	۳۶/۲
سولا	سولاچای	۲/۹۲	۴۲/۴۴	۴۳/۲	۱۵۴۵	۱۵/۲
شمس‌آباد	آغ‌چای	۲/۲۵	۱۷۵/۱۵	۸۹/۱	۱۸۴۵	۱۷/۸
عموقین	یدی‌بولیک‌چای	۵/۶۲	۷۸/۸۴	۷۰/۸	۲۲۰۳	۲۲/۷
لای	لای‌چای	۱۳/۲۸	۱۷/۳۴	۳۱/۷	۲۷۸۰	۲۸/۷
کوزه‌تپراقی	قوری‌چای	۱/۱	۸۰۰/۲۴	۲۰۳/۸	۱۷۵۴	۱۵/۷
گیلانده	بالخلوچای	۱/۲۱	۲۰۴۴/۸۴	۳۶۰/۸	۱۹۰۴	۱۷/۰
نمین	نمین‌چای	۲/۵۱	۳۲/۶۸	۳۶/۷	۱۶۹۶	۱۷
ننه‌کران	نرگس‌چای	۶/۹۸	۹/۴۴	۲۲/۱	۱۴۳۷	۱۷/۵
نیر	نیرچای	۹/۱۵	۱۶۴/۷۶	۱۰۱	۲۴۸۸	۲۴/۶
نوران	نوران‌چای	۴/۴	۱۲۶/۸۳	۷۴/۲	۱۹۳۶	۱۸/۲
ویلادرق	ولادرق‌چای	۹/۱۱	۱۱/۱۸	۲۷/۸	۲۰۷۹	۱۹/۴
هیر	هیرچای	۷/۱۸	۱۳۰/۴۴	۹۱/۷	۲۴۸۸	۲۶/۲
یامچی	بالخلوچای	۷/۰	۵۶۷/۴۵	۱۷۷/۵	۲۱۱۶	۱۹/۶



شکل ۲: موقعیت زیرحوضه‌های حوضه آبریز رودخانه‌ی قره‌سو

الف. آزمون ناپارامتری: این‌گونه آزمون‌های آماری، عموماً با متغیرهای کیفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای بررسی رابطه‌ی دو متغیر کیفی (با مقیاس اسمی و ترتیبی)، به جای ضریب همبستگی از مفهوم میزان توافق یا همگونی استفاده می‌شود. میزان توافق اولیه بین دو متغیر مقوله‌ای نیز بر اساس «جدول توافقی» و «آماره χ^2 » مشخص می‌شود که در واقع، آزمون استقلال بین دو متغیر غیرکمی به شمار می‌رود (Momeni and Ghayoumi, 2011). هر گاه در یک نمونه‌ی مورد مطالعه هیچ رابطه‌ی سیستماتیکی بین دو متغیر وجود نداشته باشد، می‌توان نتیجه گرفت دو متغیر از یکدیگر مستقل هستند که اصطلاحاً به آن استقلال آماری گفته می‌شود. به طور کلی، کای اسکوئر محاسبه‌شده فقط به تشخیص این موضوع کمک می‌کند که آیا متغیرها، مستقل از یکدیگرند یا با هم رابطه دارند؟ اما چگونگی و قوت رابطه را توضیح نمی‌دهد.

ب. آزمون پارامتری: آزمون‌های پارامتری با متغیرهای کمی (مقیاس فاصله‌ای یا نسبتی) مورد استفاده قرار می‌گیرد. شروع بررسی رابطه بین دو متغیر کمی از طریق «تحلیل همبستگی» دو متغیره است. این تحلیل، ابزاری برای تعیین نوع و درجه رابطه‌ی یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است. ضریب همبستگی نیز یکی از معیارهای مورد استفاده در تعیین همبستگی دو متغیر می‌باشد. این ضریب بین ۱ تا ۱- متغیر است که هر چه از صفر به عدد ۱ (چه منفی و چه مثبت) نزدیک شویم، رابطه‌ای قوی‌تر و نزدیک‌تر بین متغیر مورد بررسی را نشان می‌دهد. علاوه بر آزمون همبستگی پیرسون ــ که از آن برای بررسی شدت و ضعف روابط همبسته بین دو متغیر کمی استفاده می‌شود ــ می‌توان از آزمون همبستگی اسپیرمن برای بررسی رابطه بین دو متغیر رتبه‌ای استفاده کرد. مفهوم «معنی‌داری» در همبستگی

این است که آیا همبستگی حاصل بین دو متغیر را می‌توان شانسی و تصادفی دانست، یا واقعاً نشان می‌دهد بین دو متغیر همبستگی وجود دارد (Momeni And Ghayoumi, 2011).

برای اجرای آزمون‌های آماری لازم بود که متغیرهای مستقل (اجزاء لندفرمی) و وابسته (میزان رسوب‌دهی) استخراج و آماده‌سازی شود. مقادیر متغیر وابسته (رسوب‌دهی متوسط به تن در سال) به آمار تخمینی دقیقی بازمی‌گشت که قبلاً حاصل شده بود (Sfandyary and Gharachorlu, 2018)؛ البته به این دلیل که مساحت حوضه به عنوان یک متغیر گمراه‌کننده در روابط رسوب‌دهی با خصوصیات فیزیوگرافی عمل می‌کند، از مقادیر رسوب‌دهی ویژه (تن در کیلومترمربع در سال) به جای رسوب‌دهی کل استفاده شد. برای اجرای آزمون ناپارامتری، لازم بود این متغیر از حالت کمی به صورت مقوله‌ای و کیفی درآید. این طبقه‌بندی به صورت دومقوله‌ای (پایین و بالا) و سه‌مقوله‌ای (پایین، متوسط و بالا) انجام شد. اما متغیر مستقل که توزیع اجزاء لندفرمی در زیرحوضه‌های مورد مطالعه است، با استفاده از مدل رقومی ارتفاع منطقه (DEM) با قدرت تفکیک ۳۰ متر و بر اساس روش Jenness (۲۰۰۶) استخراج شد. این روش از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI[1]) سود می‌برد. مقادیر TPI را می‌توان به آسانی در قالب کلاس‌های موقعیت دامنه و بر اساس میزان کرانی آنها و شیب در هر نقطه، طبقه‌بندی کرد. آسان‌ترین روش این است که به راحتی مقادیر آستانه‌ای را برای شبکه TPI (یا برای شبکه TPI استانداردشده) مقرر کرد. مقادیر TPI بالای یک آستانه مشخص، شاید به عنوان رأس ستیغ‌ها یا تپه‌ها قلمداد شود؛ در حالی که مقادیر TPI پایین یک آستانه، به عنوان قعر درّه‌ها یا گودال‌ها طبقه‌بندی شود. مقادیر TPI نزدیک به صفر را می‌توان به عنوان دشت‌های مسطح (چنانچه شیب نزدیک به صفر باشد) یا شیب‌های میانی (چنانچه شیب، بالای یک آستانه مشخص باشد) طبقه‌بندی کرد. در نهایت، موقعیت دامنه به شش جزء لندفرمی تقسیم می‌شود که عبارتند از: ۱. ستیغ؛ ۲. بالادست دامنه؛ ۳. میان‌دست دامنه؛ ۴. پنجه دامنه؛ ۵. سکو و ۶. درّه. استخراج این طبقات و محاسبه‌ی درصد مساحت آنها برای هر یک از زیرحوضه‌ها، در محیط نرم‌افزاری GIS صورت گرفت؛ بنابراین، توزیع این طبقات در قالب درصد مساحت آنها از کل زیرحوضه‌ها به عنوان متغیر مستقل به آزمون آماری پارامتری وارد شد. برای اجرای آزمون ناپارامتری لازم بود این متغیر نیز به صورت کیفی درآید. همچون متغیر وابسته‌ی رسوب‌دهی ویژه، این تبدیل حالت به صورت دومقوله‌ای و سه‌مقوله‌ای برای متغیر مستقل اجزاء لندفرمی انجام شد؛ به طوری که مقادیر هر جزء لندفرمی در قالب دو و سه مقوله گروه‌بندی شد. این تبدیل‌ها و به طور کلی آزمون‌های آماری، در محیط نرم‌افزار پردازش آماری Spss صورت گرفت. سطح معنی‌داری روابط کیفی و کمی مساوی ۰/۰۵ و کمتر درنظر گرفته شد. ذکر این امر لازم است که این طبقات می‌توانند هم به صورت اسمی و هم ترتیبی یعنی پایین (۱)، متوسط (۲) و بالا (۳) فرض شود؛ بنابراین، آماره‌های مربوط به جدول توافقی برای هر دو مقیاس اسمی و ترتیبی ــ که بیانگر کم و کیف رابطه است ــ قابل دستیابی می‌باشد. از طرف دیگر، آزمون روابط همبستگی نیز به دو طریق پیرسون و اسپیرمن قابل اجراست.

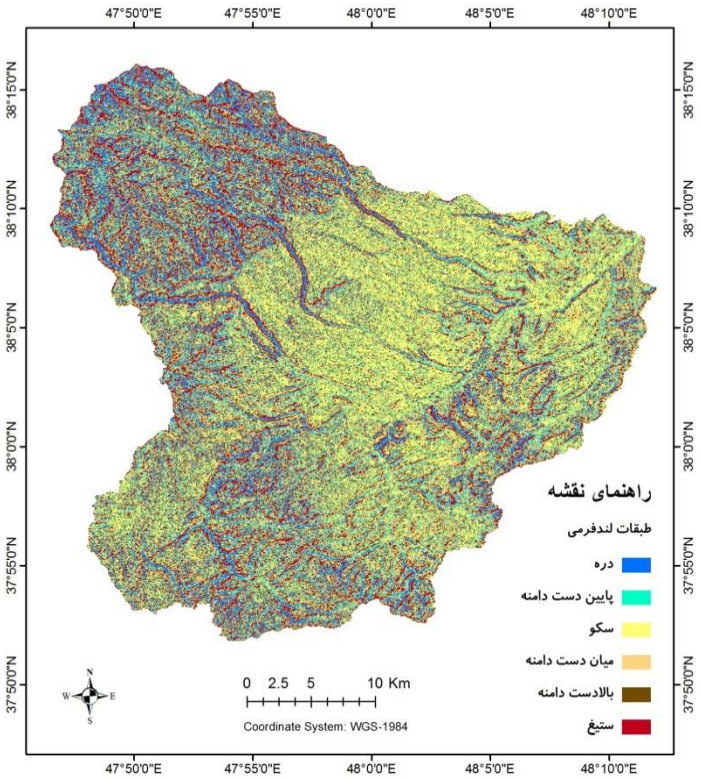
[1] Topographic position index

۴ـ یافته‌ها (نتایج)

قبل از پرداختن به نتایج آماری روابط متغیرهای مورد بررسی، آماره‌های توصیفی مربوط به درصد مساحت اجزاء و واحدهای لندفرمی برای آگاهی اولیه از نحوه‌ی توزیع و تغییرات آنها در بین زیرحوضه‌ها بررسی شد. این درصد مساحت‌ها ابتدا برای هر یک از ۱۹ زیرحوضه محاسبه شد (مساحت ۶ طبقه‌ی لندفرمی برای هر زیرحوضه). سپس آماره‌های مرکزی و پراکندگی برای ارقام حاصل شده، طی جدول ۲ محاسبه شد. با توجه به اینکه از روش استاندارد برای محاسبه‌ی شاخص TPI در طبقه‌بندی اجزاء لندفرمی استفاده شد، ارقام دو آماره میانگین و میانه به هم نزدیک بود که توزیع نزدیک به نرمال درصد مساحت اجزاء لندفرمی را نشان می‌دهد. از همین دو آماره و مجموع درصدها پیداست که بیشترین مساحت زیرحوضه‌ها به لندفرم میان‌دست دامنه (میانگین و میانه به ترتیب برابر با ۳۲ و ۳۱ درصد) تعلق دارد. بقیه‌ی اجزاء لندفرمی نیز تقریباً توزیع یکنواختی در بین زیرحوضه‌ها دارند. با این حال، بر اساس مقادیر مجموع درصدهای اجزاء لندفرمی می‌توان گفت که ترتیب درصد مساحت این اجزاء از بیشترین به کمترین بدین صورت است: میان‌دست، پنجه (پایین‌دست)، بالادست، ستیغ، درّه و سکو. البته ناگفته نماند که در روش طبقه‌بندی موقعیت دامنه، بعضاً دقت برخی لندفرم‌ها پایین است و نتایج طبقه‌بندی را کمی با اشکال مواجه می‌سازد. لندفرم درّه، مهم‌ترین آنهاست که در نواحی مابین دشت و کوهستان و جاهایی که به شکل درّه‌ی باز و uشکل به نظر می‌رسد، در واحد لندفرمی سکو یا نواحی مسطح ادغام می‌شود. شکل ۳، نمونه‌ای از این نارسایی را برای زیرحوضه‌ی بالیخلی نشان می‌دهد. اما مقادیر دامنه تغییرات توزیع طبقات لندفرمی نشان می‌دهد که زیرحوضه‌ها به لحاظ درصد مساحت تحت اشغال طبقه‌ی لندفرمی سکو یا همان پهنه‌های مسطح، بیشترین اختلاف را با یکدیگر دارند. این موضوع به شکلی بهتر در مقادیر واریانس (۳۹/۲۵) و انحراف معیار (۶/۲۶) قابل استنباط است. در مقابل این ناهمگونی زیرحوضه‌ها به لحاظ مساحت لندفرم سکو، به لحاظ توزیع لندفرم پنجه یا همان پایین‌دست دامنه (واریانس و انحراف معیار به ترتیب برابر با ۰/۴۳ و ۰/۶۶) همگونی زیادی بین آنها وجود دارد. علاوه بر لندفرم سکو، لندفرم میان‌دست دامنه نیز با مقادیر واریانس و انحراف معیار به ترتیب ۱۹/۱۱ و ۴/۳۷، تمایز زیادی با سایر اجزاء لندفرمی به لحاظ توزیع مساحت در بین زیرحوضه‌ها دارد. گمان می‌رود که این تمایز بر چند و چون روابط پراکنش اجزاء لندفرمی با تغییرات مکانی رسوب‌دهی تأثیرگذار باشد.

جدول ۲: آماره‌های توصیفی درصد مساحت اجزاء لندفرمی در زیرحوضه‌های حوضه رودخانه‌ی قره‌سو

اجزاء لندفرمی	درّه	سکو	پنجه دامنه	میان‌دست دامنه	بالادست دامنه	ستیغ
میانگین	۱۳/۴۹	۱۱/۹۸	۱۴/۵۶	۳۲/۱۳	۱۴/۱	۱۳/۷۳
میانه	۱۳/۲۷	۱۳/۲۹	۱۴/۵۸	۳۱/۲۴	۱۴/۱۷	۱۳/۴۵
مجموع	۲۵۶/۳	۲۲۷/۶۵	۲۸۶/۷	۶۱۰/۴۹	۲۶۷/۹۵	۲۶۰/۹۴
کمینه	۱۱/۵	۲/۵۴	۱۳/۸	۲۲/۹۵	۱۲/۱۶	۱۲
بیشینه	۱۵/۱۴	۲۴/۸۲	۱۶/۴	۳۸/۶۸	۱۵/۹	۱۵/۴۵
دامنه تغییرات	۳/۶۴	۲۲/۲۸	۲/۶۳	۱۵/۷۲	۳/۷۴	۰/۴۶
واریانس	۰/۹۲	۳۹/۲۵	۰/۴۳	۱۹/۱۱	۰/۵	۰/۷۵
انحراف معیار	۰/۹۶	۶/۲۶	۰/۶۶	۴/۳۷	۰/۷۱	۰/۸۶



شکل ۳: نقشه‌ی اجزاء لندفرمی حوضه بالیخلی‌چای

پس از بررسی اولیه‌ی نحوه‌ی پراکنش و تفاوت در توزیع مساحت‌های اجزاء لندفرمی، به نتایج تحلیل آماری ناپارامتری و پارامتری روابط متغیرها پرداخته شد که در ادامه ذکر می‌شود.

الف. آزمون روابط کیفی

نظر به طبقه‌بندی دو متغیر مورد بررسی در دو حالت دومقوله‌ای و سه‌مقوله‌ای، در مجموع چهار بار به آزمون روابط متغیرهای کیفی پرداخته شد که نتایج آن در قالب جدولی چهاربخشی (جدول ۳) ذکر می‌شود. طبق نتایج جدول، بین توزیع طبقات اجزاء لندفرمی با توزیع طبقات میزان رسوب‌دهی ویژه روابط معنی‌داری وجود دارد. اولین نکته‌ی مهم این است که تعداد روابط معنی‌دار در جداول توافقی با سطر و ستون برابر (۲*۲، ۳*۳)، کمتر از جداولی است که سطر و ستون نامساوی (۲*۳ ، ۳*۲) دارد؛ به عبارتی، زمانی که متغیرها در تعداد مقوله‌های یکسان در مقابل یکدیگر قرار گرفتند، تنها یک رابطه‌ی معنی‌دار حاصل شد. در حالی که این روابط معنی‌دار در متغیرهای با تعداد مقوله‌های ناهمسان به دو عدد رسید. این واقعیت به نوعی بیانگر تفاوت در مقیاس اندازه‌گیری و دامنه‌ی متفاوت مقادیر متغیرهای مورد بررسی است.

جدول ۳: نتایج آزمون کای دو در روابط طبقات رسوب‌دهی با طبقات اجزاء لندفرمی

اجزاء لندفرمی	درّه	سکو	پنجه دامنه	میان‌دست دامنه	بالادست دامنه	ستیغ
دو طبقه رسوب‌دهی در مقابل دو طبقه اجزاء لندفرمی (۲*۲)						
مقدار شاخص $\chi 2$	۰/۴۶	۴/۳۴	۱/۳۵	۲/۵۵	۰/۴۶	۰/۴۳
درجه آزادی	۱	۱	۱	۱	۱	۱
معنی‌داری	۰/۵	۰/۰۴	۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۵	۰/۴۷
سه طبقه رسوب‌دهی در مقابل دو طبقه اجزاء لندفرمی (۳*۲)						
مقدار شاخص $\chi 2$	۰/۰۹	۳/۹۱	۶/۸۷	۶/۲	۰/۰۹	۰/۱
درجه آزادی	۲	۲	۲	۲	۲	۲
معنی‌داری	۰/۹۵	۰/۱۴	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۹۶	۰/۹۸
سه طبقه رسوب‌دهی در مقابل سه طبقه اجزاء لندفرمی (۳*۳)						
مقدار شاخص $\chi 2$	۲/۱۳	۲/۹۵	۷/۳۱	۹/۲۴	۲/۸۱	۱/۱۷
درجه آزادی	۴	۴	۴	۴	۴	۴
معنی‌داری	۰/۷۱	۰/۵۷	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۵۹	۰/۸۸
دو طبقه رسوب‌دهی در مقابل سه طبقه اجزاء لندفرمی (۲*۳)						
مقدار شاخص $\chi 2$	۱/۹	۳/۹۱	۰/۷۶	۶/۲	۶/۲	۱/۴۳
درجه آزادی	۲	۲	۲	۲	۲	۲
معنی‌داری	۰/۳۹	۰/۱۴	۰/۶۸	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۵

بیشترین تعداد روابط معنی‌دار بین طبقات اجزاء لندفرمی و طبقات رسوب‌دهی در خصوص واحد لندفرمی میان‌دست دامنه حاصل شد. در این راستا وجود سه رابطه‌ی معنی‌دار در سه آزمون از چهار آزمون کای دو، به قطعیت روابط این جزء لندفرمی با میزان رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها اشاره دارد. احتمالاً تعلق بیشترین مساحت زیرحوضه‌ها به این جزء لندفرمی و وجود فقدان تجانس بالای زیرحوضه‌ها به لحاظ درصد مساحت این واحد لندفرمی، در چگونگی این رابطه

تأثیرگذار بوده‌است. اما مهم‌تر از آن این نکته می‌تواند باشد که در یک گرادیان ارتفاعی، طبقه لندفرمی میان‌دست دامنه به عنوان بستر اصلی برای بروز فرایندهای فرسایشی و حمل رسوب مطرح می‌باشد. در همین جا است که مواد هوازده‌ی سرازیرشده از بالادست دامنه، فرصتی اولیه و موقت برای انباشت و توده‌ای‌شدن می‌یابد و در شرایط هیدرومورفوژنز فعال و سازندهای فرسایش‌پذیر، دستخوش حرکات دامنه‌ای می‌شود. گویا این جزء لندفرمی با داشتن شیب‌های آستانه، بخشی پویا نسبت به سایر اجزاء لندفرمی است. علاوه بر جزء لندفرمی میان‌دست دامنه، سه جزء لندفرمی سکو، پنجه دامنه و بالادست دامنه نیز با میزان رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها روابط معنی‌داری دارد. در این بین در هیچ یک از آزمون کای دو، دو جزء لندفرمی درّه و ستیغ ــ که به ترتیب پست‌ترین و مرتفع‌ترین اجزاء لندفرمی محسوب می‌شوند ــ با میزان رسوب‌دهی رابطه‌ی معنی‌داری نداشتند. علاوه بر اینکه تفاوت کم زیرحوضه‌ها به لحاظ درصد مساحت تحت اشغال این دو جزء لندفرمی در روابط غیرمعنی‌دار بی‌تأثیر نیست، ماهیت این اجزاء لندفرمی نیز می‌تواند بر کم و کیف روابط آنها تأثیرگذار باشد. وجود فرسایش کم در مرتفعات به دلیل وجود رخنمون‌های سنگی و خاک منفصل کم‌ضخامت و نقش کم آب‌های جاری (رجوع شود به: Sarhangi et al, 2008 & Mohamad Khan et al, 2011 & Elmizadeh, 2012)، می‌تواند دلیلی بر نامعنی‌داری رابطه‌ی لندفرم ستیغ با میزان رسوب‌دهی باشد. با اینکه درّه‌های رودخانه‌ای، راهروهای انتقال رسوب به طرف مقصد نهایی (در این جا ایستگاه‌های هیدرومتری) هستند، گویا مساحت آنها در کم و کیف این انتقال و تحویل رسوب، تأثیر مهمی نداشته‌است و احتمالاً تراکم آنها بایستی درنظر گرفته شود. البته با افزایش مساحت درّه‌ها ممکن است نقاط توقف رسوبات معلق نیز افزایش یابد و بدین‌ترتیب، مانعی در برابر تحویل رسوب ایجاد شود. درنتیجه، رابطه‌ی مساحت درّه‌ها با رسوب‌دهی آنها دچار ابهام و پیچیدگی می‌شود.

ب. آزمون روابط کمی

نتایج تحلیل همبستگی پیرسون نشان داد که گرچه بین پراکنش اجزاء لندفرمی با میزان رسوب‌دهی ویژه روابط معنی‌داری وجود ندارد، ضرایب همبستگی قابل‌توجهی هست که دست کم به لحاظ نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) مهم می‌باشد. مزیت آزمون‌های پارامتری هم در همین نکته است که روابط متغیرها را به طور دقیق‌تر و کامل‌تر نسبت به آزمون‌های ناپارامتری نشان می‌دهد. نتایج آزمون فوق طبق جدول ۴، وجود سه رابطه‌ی مستقیم در مقابل سه رابطه‌ی معکوس میان درصد مساحت اجزاء لندفرمی مختلف و میزان رسوب‌دهی ویژه را در بین زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۴: نتایج آزمون همبستگی پیرسون میان پراکنش اجزاء لندفرمی و میزان رسوب‌دهی

لندفرم	درّه	سکو	پنجه دامنه	میان‌دست دامنه	بالادست دامنه	ستیغ
ضریب همبستگی	۰/۲۷	-۰/۳۴	-۰/۱۲	۰/۴	-۰/۰۳	۰/۲۸
معنی‌داری	۰/۲۶	۰/۱۵	۰/۶۱	۰/۰۸	۰/۹	۰/۲۵

* سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و کمتر می‌باشد.

در مرحله‌ی نخست، وجود رابطه‌ی مستقیم بین جزء لندفرمی درّه و میزان رسوب‌دهی (R= 0/27) به این امر اشاره دارد که با افزایش درصد مساحت لندفرم درّه در زیرحوضه‌ها، میزان رسوب‌دهی آنها نیز افزایش می‌یابد. با توجه به

اینکه در طبقه‌بندی اجزاء لندفرمی، درّه‌های vشکل مناطق کوهستانی و تپه‌ای نسبت به درّه‌های مناطق دشتی نمود بهتری داشت، این نوع رابطه تا حدودی قابل توجیه است؛ چرا که طبق تحقیقات Dedkov و Mozzherin (۱۹۹۶) در مناطق دشتی و هموار، بیش از نیمی از کل مواد فرسایشی داخل حوضه دستخوش انباشت و ذخیره می‌شوند. از طرفی، وجود تعداد بیشتر زیرحوضه‌های کوچک و کوهستانی در بین زیرحوضه‌های مورد مطالعه می‌تواند بر این رابطه‌ی مستقیم تأثیرگذار باشد. در چنین حوضه‌هایی، فاصله‌ی حمل رسوب از بالادست دامنه به پایین‌دست آن کاهش می‌یابد؛ به عبارتی، تحویل رسوب به طور آسان‌تر و سریع‌تر صورت می‌گیرد. این واقعیتی است که Vanmaercke و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از آمار ۱۷۴۹ نقطه‌ی اندازه‌گیری بار رسوب در قاره‌ی اروپا بدان دست یافتند. ایشان مورفودینامیک فعال و محدودیت پهنه‌های ذخیره و رسوب‌گذاری را به عنوان دلایل رسوب‌دهی بالای مناطق کوهستانی نسبت به مناطق پست و تپه‌ای ذکر کردند. این نتیجه در تحقیق Restrepo و همکارانش (۲۰۰۹) نیز حاصل شد. البته این واقعیت را می‌توان به طور کامل‌تر از طریق رابطه‌ی مستقیم حاصل میان درصد مساحت لندفرم ستیغ با میزان رسوب‌دهی (R= 0/28) درک کرد. بنابراین می‌توان گفت فارغ از سایر متغیرهای دخیل در رسوب‌هی، هر چه مساحت ستیغ‌ها و درّه‌ها به عنوان مبدأ و مقصد نهایی مواد فرسایشی افزایش یابد، تحویل رسوب بیشتری نیز مشاهده خواهد شد.

رابطه‌ی منفی درصد مساحت لندفرم سکو یا نواحی مسطح با رسوب‌دهی ویژه‌ی زیرحوضه‌ها (R= -0/34) را نیز می‌توان در همخوانی با نتایج پیشین قرار داد. نظر به اینکه نواحی مسطح، محلی برای انباشت و تجمع رسوبات محسوب می‌شود، وجود چنین رابطه‌ای دور از انتظار نیست. در واقع تشکیل دشت‌های آبرفتی در حدفاصل دشت‌سر- پنجه دامنه و آبراهه‌ها، حاصل چنین فرایندی (رسوب‌گذاری) است. بدون شک وجود بیشترین اختلاف و ناهمگونی حوضه‌ها به لحاظ درصد مساحت لندفرم سکو، در افزایش ضریب همبستگی و آشکار شدن بهتر رابطه‌ی این لندفرم با میزان رسوب‌دهی حوضه‌ها تأثیرگذار بوده‌است. همین مطلب در خصوص رابطه‌ی همبسته لندفرم میان‌دست دامنه با میزان رسوب‌دهی نیز صادق می‌باشد. در این راستا، وجود بالاترین میزان ضریب همبستگی (R= 0/4) که سطح معنی‌داری آن اختلاف ناچیزی با سطح معنی‌داری مجاز (۰/۰۵ و کمتر) دارد، بار دیگر (به مانند آزمون کای دو) قطعیت روابط نزدیک‌تر و قوی‌تر جزء لندفرمی میان‌دست دامنه نسبت به سایر اجزاء لندفرمی تأیید شد. تأمین رسوب بیشتر از یک طرف و بروز فرایندهای پویای انتقال رسوب از طرف دیگر در داخل این طبقه‌ی لندفرمی باعث می‌شود رابطه‌ی مستقیمی بین مساحت آن با رسوب‌دهی ویژه‌ی زیرحوضه‌ها برقرار باشد؛ بنابراین معلوم می‌شود که چگونگی پراکنش این طبقه‌ی لندفرمی، تبیین روشن‌تری از تغییرات مکانی رسوب‌دهی به دست می‌دهد. محققان داخلی چون Sarhangi و همکاران (۲۰۰۸)، Mohamad Khan و همکاران (۲۰۱۱) و Yousefi (۲۰۱۶)، به فرسایش بیشتر ارتفاعات و شیب‌های میانی پی بردند. نتیجه‌ی فوق می‌تواند به نوعی در راستای نتایج آزمایشگاهی Rieke-Zapp و Nearing (۲۰۰۵) باشد، مبنی بر اینکه دامنه‌های یکنواخت و کوژ- مستقیم نسبت به دامنه‌های کاو ـ مستقیم و قدامی واقع در پنجه دامنه، بار رسوب بیشتری تولید می‌کند و میزان رسوب‌دهی از بالادست دامنه به سمت پنجه دامنه کاهش می‌یابد. وجود رابطه‌ی منفی که بین درصد مساحت پنجه دامنه و رسوب‌دهی ویژه (R= -0/12) حاصل شد نیز در تأیید این مطلب می‌باشد. رسوب‌گذاری و انباشته شدن موقتی یا دائمی مواد به‌ویژه جایی که زاویه‌ی شیب به طرف پایین دامنه کم می‌شود (Lal, 2004)، به کاهش رسوب ورودی به آبراهه‌ها و حجم رسوبات رسیده به خروجی حوضه منجر می‌شود.

در بخش آزمون همبستگی میان متغیرهای مورد مطالعه، علاوه بر همبستگی پیرسون از همبستگی رتبه‌ای نیز استفاده شد. نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن به صورت دورتبه‌ای (پایین و بالا) و سه‌رتبه‌ای (پایین، متوسط و بالا) در جدول ۵ ذکر شده‌است.

جدول ۵: نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن میان پراکنش اجزاء لندفرمی و میزان رسوب‌دهی

لندفرم	درّه	سکو	پنجه دامنه	میان‌دست دامنه	بالادست دامنه	ستیغ
متغیرهای سه‌رتبه‌ای						
ضریب همبستگی	۰/۲۲	-۰/۳۲	-۰/۴۷	۰/۶۱	۰/۲۳	۰/۰۸
معنی‌داری	۰/۳۶	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۰۰۵	۰/۳۳	۰/۷۳
متغیرهای دورتبه‌ای						
ضریب همبستگی	۰/۱۷	-۰/۴۸	-۰/۲۷	۰/۳۷	۰/۱۶	۰/۱۷
معنی‌داری	۰/۵۲	۰/۰۴	۰/۲۷	۰/۱۲	۰/۵۲	۰/۵۳

* سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و کمتر می‌باشد.

هنگامی که متغیرهای مستقل اجزاء لندفرمی و متغیر وابسته‌ی میزان رسوب‌دهی در سه رتبه گروه‌بندی شدند، دو رابطه‌ی معنی‌دار حاصل شد آن هم بین رتبه‌های مساحت لندفرم‌های پایین‌دست دامنه و میان‌دست دامنه با رتبه‌های رسوب‌دهی ویژه. در حالی که در بخش دورتبه‌ای، تنها لندفرم سکو با رسوب‌دهی ویژه رابطه‌ی معنی‌داری دارد. بالاترین و پایین‌ترین ضرایب همبستگی اسپیرمن نیز به ترتیب در خصوص لندفرم میان‌دست دامنه (R= 0/61) و ستیغ (R= 0/08) به دست آمد. جهت رابطه‌ی اجزاء لندفرمی با میزان رسوب‌دهی در این بخش، همانند بخش همبستگی پیرسون بود. تنها تفاوت در خصوص لندفرم بالادست دامنه بود که جهت رابطه‌ی آن با رسوب‌دهی ویژه در همبستگی پیرسون، معکوس و در همبستگی اسپیرمن، مستقیم بود. با این نتایج معلوم شد که با کاربست همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن در کنار همبستگی پیرسون، می‌توان روابط متغیرها را کامل‌تر پیگیری و کشف کرد. علاوه بر این، از آن جایی که متغیرها در آزمون اسپیرمن همچون آزمون کای دو گروه‌بندی می‌شوند، به نظر می‌رسد طبقه‌بندی متغیرها در مقوله‌های کیفی از اثرات باقیمانده‌ها می‌کاهد و روابط متغیرها معنی‌دارتر می‌شود. بنابراین، ممکن است توان پیش‌بینی مدل‌ها نیز افزایش یابد که این امر مستلزم تحقیق و تفحص بیشتر است.

روی‌هم‌رفته، نتایج آزمون روابط اجزاء لندفرمی با رسوب‌دهی زیرحوضه‌های مورد مطالعه به اثر عاملی به نام ارتفاع بر فرایندهای فرسایشی و تولید رسوب اشاره دارد. ارتفاع از سطح دریا، متغیر چندجنبه‌ای است که بسیاری از متغیرهای محیطی دیگر را تحت‌الشعاع خود قرار می‌دهد. ارتفاع حوضه در میزان و نوع بارندگی، درجه حرارت و تغییرات آن، میزان تبخیر و تعرق، شدّت تشعشعات خورشیدی و به طور کلی آب و هوای منطقه و در پی آن تشکیل و توسعه‌ی خاک و تراکم پوشش گیاهی تأثیر دارد (Lotfi, 2012). البته محققان مختلف در بررسی کم و کیف فرسایش و رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز، عمدتاً در کنار عامل ارتفاع به عامل شیب نیز توجه داشته‌اند. در واقع، تبیین اثرات این دو متغیر بدون درنظرگرفتن یکی از آنها، ناقص و در طبقه‌بندی لندفرم‌ها نیز این موضوع لحاظ می‌شود. با تأکید بر این موضوع می‌توان گفت که نتایج حاصل در بخش آزمون ناپارامتری مبنی بر وجود روابط معنی‌دار، به نوعی با تحقیقات

Mohamad Khan و همکاران (۲۰۱۱) و Yousefi (۲۰۱۶) همخوانی داشت. اما در بخش آزمون پارامتری ـ که نمود دقیق‌تری از نوع روابط به دست داد ـ می‌توان مقایسه‌ی بیشتری با نتایج سایر محققان یافت؛ چرا که اغلب ایشان از صورت کمی متغیرها با مقیاس فاصله‌ای و نسبتی در مدل‌سازی‌ها و پیش‌بینی فرسایش و رسوب‌دهی سود جسته‌اند. با درنظرگرفتن این موضوع که عموماً از طبقه لندفرمی ستیغ به سمت طبقه لندفرمی درّه یک گرادیان کاهشی در متغیرهای ارتفاع و شیب وجود دارد، و اینکه هر دو متغیر مذکور با میزان فرسایش و رسوب‌دهی رابطه‌ی مستقیمی دارند، نوع روابط همبسته حاصل بیانگر یک گرادیان تأثیر پیوسته و افزایشی ـ کاهشی طبقات لندفرمی (از ستیغ به طرف درّه) بر میزان رسوب‌دهی نبود. Mohamad Khan و همکاران (۲۰۱۱) نیز مشاهده کردند که با بالا رفتن شیب، ابتدا میزان فرسایش افزایش می‌یابد، سپس کاهش. بنابراین، ممکن است بین متغیرهای ارتفاع و شیب با رسوب‌دهی حوضه‌ها ـ که Zhang و همکاران (۲۰۱۵) و Karalis و همکاران (۲۰۱۸) نیز بدان دست یافتند ـ همیشه رابطه‌ی مستقیمی برقرار نباشد. Yousefi (۲۰۱۶) دریافت که در ارتفاعات پایین و شیب‌های کمتر، شدت فرسایش بیشتر و از نوع بدلند می‌باشد. Mokarram و همکاران (۲۰۱۷) نیز به فرسایش‌پذیری بیشتر لندفرهای ارتفاعات پایین نسبت به ارتفاعات بالا اذعان کردند. با همه‌ی این‌ها بایستی توجه داشت که اغلب محققان از متغیرهای ارتفاع و شیب به صورت مجزا برای تبیین تغییرات مکانی فرسایش و رسوب‌دهی استفاده کرده‌اند و مقایسه‌ی مستقیم و مشخص طبقات لندفرمی به لحاظ نحوه‌ی تأثیرشان بر فرسایش و رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز در تحقیقات معدودی دیده می‌شود که مقایسه‌ی نتایج را با محدودیت مواجه می‌سازد.

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

پدیده‌های فرسایش و انتقال رسوب در داخل حوضه‌ها به دلیل ابعاد گسترده‌ی آنها در قبال محیط زیست و پیچیدگی فرایند فرسایش (تخریب، انتقال و رسوب‌گذاری)، در کانون توجه رویکرد سیستمی ژئومورفولوژی است تا بدین طریق آگاهی مفید و جامعی از ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم حوضه آبخیز طی مراحل مختلف فرسایش کسب شود. تقسیم‌بندی حوضه‌ها به اجزاء لندفرمی و برقراری ارتباط بین پراکنش آنها و میزان رسوب‌دهی حوضه‌ها، می‌تواند کلیدی راهگشا در این زمینه باشد. اتخاذ چنین رویکردی در این پژوهش، به کمک تحلیل‌های آماری جامع‌تر و دقیق‌تر به صورت ترکیبی از آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری صورت گرفت. در مرحله‌ی نخست، نتایج آزمون روابط متغیرهای کیفی نشان داد که بین طبقات رسوب‌دهی به لحاظ توزیع طبقات اجزاء لندفرمی حوضه‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد. اجرای چهار آزمون کای دو ـ که به لحاظ تعداد مقوله‌های متغیرها متفاوت بود ـ نه تنها از رابطه‌ی معنی‌دار بین طبقات رسوب‌دهی ویژه و طبقات اجزاء لندفرمی سکو، پایین‌دست دامنه، میان‌دست دامنه و بالاست دامنه حکایت داشت، بلکه به روشن شدن رابطه‌ی قطعی‌تر لندفرم میان‌دست دامنه نسبت به پنج لندفرم دیگر با میزان رسوب‌دهی منجر شد. در گام بعدی، نتایج تحلیل همبستگی پیرسون نیز حاکی از وجود روابط نزدیک‌تر این واحد لندفرمی با میزان رسوب‌دهی ویژه (R= 0/4) بود. وجود رابطه‌ی مستقیم بین مساحت طبقه لندفرمی میان‌دست دامنه با رسوب‌دهی ویژه حوضه‌ها، به تأمین رسوب بیشتر از یک طرف و بروز فرایندهای پویای انتقال رسوب از طرف دیگر در داخل این طبقه لندفرمی اشاره داشت که محققان پیشین نیز به صورت مستقیم و غیرمستقیم بدان اشاره داشته‌اند. در

کل، هر چند طی تحلیل همبستگی پیرسون بین درصد مساحت‌های اجزاء لندفرمی با رسوب‌دهی ویژه حوضه‌ها روابط معنی‌داری حاصل نشد؛ با این حال، تصویر روشن و دقیقی از نوع و جهت روابط متغیرهای مورد بررسی به دست آمد که مزیت آمار پارامتری نسبت به ناپارامتری است. البته کاربست تحلیل همبستگی اسپیرمن همچون آزمون کای دو، بار دیگر روابط معنی‌دار سه لندفرم سکو، پایین‌دست دامنه و میان‌دست دامنه را با رسوب‌دهی ویژه حوضه‌ها تأیید کرد. صرف‌نظر از افزایش نسبی ضرایب همبستگی اسپیرمن نسبت به پیرسون در خصوص این لندفرم‌ها، به نظر می‌رسد که طبقه‌بندی متغیرها به صورت اسمی و ترتیبی از اثرات باقیمانده‌ها می‌کاهد و به معنی‌دارترشدن روابط متغیرها منجر می‌شود. گذشته از این‌ها، نحوه‌ی توزیع طبقات لندفرمی در بین حوضه‌ها و وجود تجانس یا فقدان تجانس بدین لحاظ، بر چند و چون روابط تأثیرگذار است که توجه بدان نیز در تحلیل‌های ناحیه‌ای تغییرات رسوب‌دهی ضروری می‌باشد.

از آن جایی که رسوب‌دهی، برآیندی از فرایندهای فرسایش، انتقال و رسوب‌گذاری در داخل کل حوضه بوده و به عنوان نماینده «فرسایش خالص» در داخل یک سیستم زهکشی مطرح می‌باشد (Hudson, 2003)، می‌توان گفت نتایج پژوهش حاضر به پیوند میان فرسایش ناخالص (آنچه که در بالادست خروجی حوضه اتفاق می‌افتد) و خالص (قابل سنجش در خروجی حوضه) اشاره دارد. البته بایستی این نکته را نیز درنظر داشت که یک واحد لندفرمی نه تنها می‌تواند قالبی برای برونداد یا دروندادِ رسوبات باشد، قالبی برای بروز فرایند فرسایش نیز محسوب می‌شود. این موضوع به همان رابطه‌ی متقابل فرم و فرایند در ژئومورفولوژی اشاره دارد که در مقیاس‌های زمانی مختلف بر یکدیگر تأثیرگذار می‌باشد. در هر حال، هر چند برقراری پیوند میان فرسایش خالص و ناخالص در هر نقطه‌ای از حوضه به لحاظ اندازه‌گیری فرسایش خالص ممکن است، اما روشن است که هر چه فاصله‌ی نقطه اندازه‌گیری به سمت بالادست حوضه منتقل شود، بهتر و دقیق‌تر می‌توان به برآورد فرسایش خالص دست یافت. در این مطالعه وجود ایستگاه‌های هیدرومتری در پایین‌دست حوضه‌های کوچک و کوهستانی، به افزایش دقت در برقراری پیوند مذکور منجر شد. با این وجود، دور از انتظار نبود که بین نحوه‌ی توزیع اجزاء لندفرمی و میزان رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها همبستگی پایینی مشاهده شود؛ چرا که تنها یکی از فاکتورهای متعدد طبیعی مؤثر بر رسوب‌دهی (مورفولوژی زمین) ــ که در سایر تحقیقات به صورت جزئی بدان پرداخته شده بود ــ بررسی و بازبینی شد. از طرفی، بایستی ماهیت متغیرها را نیز درنظر داشت. واحدهای ژئومورفیک (اجزاء لندفرمی) در مدل‌سازی و فهم روابط بین متغیرهای محیطی به صورت ایستا فرض می‌شود (که در طول دهه‌ها نیز ممکن است این وضعیت ادامه داشته باشد)؛ اما رسوب‌دهی یک پدیده‌ی متغیر و پیچیده است که تغییرات زمانی ــ مکانی قابل‌توجهی دارد. در واقع لحاظ کردن رسوب‌دهی متوسط سالانه در روابط آماری، یک فرض ایستایی برای این متغیر است تا مدل‌سازی به سهولت و سادگی ممکن باشد. هر چند که همین سادگی و سهولت کاربست مدل‌های تجربی است که استفاده از آنها را در پیش‌بینی پدیده‌ها و وقایع محیطی فراگیر ساخته است؛ با این حال، برای فهم کامل‌تر روابط بین متغیرهای مورد نظر می‌توان از مقادیر حدی سالانه رسوب‌دهی طی یک دوره سود جست که به بررسی‌های بیشتر نیازمند است.

از آن جایی که می‌توان از نتایج تحلیل‌های آماری و برآوردهای ناحیه‌ای از میزان مشارکت و تأثیر اجزاء لندفرمی گوناگون در بروز فرسایش و تولید رسوب به عنوان مبنا و رهنمودی ویژه برای طرح‌های آمایشی و اولویت‌بندی ژئومورفیک اقدامات آبخیزداری و حفاظت خاک در گستره‌ی حوضه‌های آبریز استفاده کرد، بایسته است که این‌گونه

روابط در حوضه‌های آبریز مناطق مختلف کشور به جهت واحدهای ناهمواری متفـاوت و رژیـم‌هـای هیـدروکلیمایی متفاوت حاکم بر حوضه‌های رودخانه‌ای بررسی شود.

منابع

1. Dedkov, A. P., & V. I. Mozzherin., (1996). Erosion and sediment yield on the Earth. *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences*. 236, 29-36.

2. Elmizadeh, H., 2012. Morphological and slope analysis in relation to erosion (Case Study of the Nachi Basin), *Geographical Data (Sepehr)*, 20(80), 79-83. (In Persian).

3. Hudson, P. F., 2003. The influence of the el niñoso uthern oscillation on suspended sediment load variability in a seasonally humid tropical setting: pánuco basin, Mexico, *Geographic Annals*, 85 (3–4), 263-275.

4. Jenness, J., 2006. Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.2. Jenness Enterprises, Available at: http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm.

5. Karalis, S.; Karymbalis, E.; & N. Mamassis, 2018. Models for sediment yield in mountainous Greek catchments, *Geomorphology*, 322, 76-88.

6. Lal, R., 2004. Soil erosin research methods, Translated by A. Mahmudzadeh, Urmia University, 688p. (In Persian).

7. Lotfi, Z., 2012. Studing of factors water erosion susceptibility in geomorphological units (A Cases Study watershed basin Lavasan, Latyan), Ms.c thesis. Department of Geography and Environment, Sabzevar Tarbiat Moallem University, 125p. (In Persian).

8. Mohamad Khan, Sh.; Ahmadi, H.; Feiznia, S.; & A. Salajeghea, 2011. Investigation of the effect of slope on the intensity of water erosion rate (Case study: Latian watershed), *Watershed Management Researches Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 4(89), 73-81. (In Persian).

9. Mokarram, M.; Darvishi, A.; & S. Negahban, 2017. The relation between morphometric characteristics of watersheds and erodibility at different altitude levels using topographic position index (tpi) case study: Nazloochaei watershed, *Geographical Data (Sepehr)*, 26(101), 131-142. (In Persian).

10. Momeni, M., & A. F. Ghayoumi., (2010). Statistical Analysis with SPSS. Moalef. 344p. (In Persian).

11. Motamedi, R., & M. Azari., (2018). The relationship between geomorphic characteristics and watershed sediment yield: a case of selected subwatersheds of Khorasan Razavi. *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*. 28(7:4), 82-101. (In Persian).

12. Noori, H.; Siadatmousavi, S. M.; & B. Mojaradi, 2016. Assessment of sediment yield using RS and GIS at two sub-basins of Dez Watershed, Iran, *International Soil and Water Conservation Research*, 4(3), 199-206.

13. Restrepo, J. D.; Lopez, S. A.; & J. C. Restrepo, 2009. The effects of geomorphic controls on sediment yield in the Andean rivers of Colommbia, *Latin American Journal of Sedimontology and Basin Analusis*, 16 (2), 79-92.

14. Rieke-Zapp, D. H., & M. A. Nearing., (2005). Slope shape effects on erosion. *Soil Science Society of America Journal*. 69(5), 1463-1471.

15. Rompaey, A. V., 2005. Modeling sediment yields in Italian catchments, *Geomorphology*, 65, 157-169.

16. Sarhangi, J.; Gholami, V.; & G. Bashir, 2008. Investigation about the effects of topography on the soil erosion intensity (case study: zaremrod watershed), *Geographical Research Quarterly*, 40(64), 169-177. (In Persian).

17. Sfandyary, F., & M. Gharachorlu., (2018). Study the spatial variations of sdeiment yield using monthly sediment rating curve (case study: Qarasu watershed). Final report of research

project. faculty of Literature and Humanities, university of Mohaghegh Ardabili. 75p. (In Persian).
18. Vanmaercke, M.; Poesen, J.; Verstraeten, G.; de Vente, J.; & F. Ocakoglu, 2011. Sediment yield in Europe: spatial patterns and scale dependency, *Geomorphology*, 130 (3-4), 142-161.
19. Yousefi, A., 2016. Investigation on relationship between topography and lithology with types of erosion by water, Ms.c thesis, Department of Geography, University of Mazandaran, 67p. (In Persian).
20. Zangane Asadi, M. A.; Taghavi Moghadam, E.; & F. Beramali, 2019. Evaluating and estimating the risk of erosion and sediment in Karaj basin using morphometric and experimental methods, *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*, 33(9:1), 105-125. (In Persian).
21. Zhang, H. Y.; Shi, Z. H.; Fang, N. F.; & M. H. Gao, 2015. Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: evidence from the loess plateau of China, *Geomorphology*, 234, 19-27.

Study of relationship between spatial variation of sediment yield and disrtribution of landform components (Case study: Qarasu watershed)

Aghil Madadi[2]: *Professor, Physical Geography Department, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardebili, Ardebil*
Mortaza Gharachorlu**:** *Ph.D. in Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardebili, Ardebil.*

Article History (Received: 2020/07/13 Accepted: 2020/12/5)

Extended abstract

1- Introduction

Erosion and sedimentation in watersheds has caused many problems in healthy and sustainable use of water and soil resources, and is considered as one of the major threats to global economic and environmental sustainability. The increase of sediment yield in watersheds has consequences such as dam filling, river diversion, conductivity capacity reduction of waterways and water facilities, and changes water quality for drinking and agriculture. So, spatial modeling and prediction of sediment yield in watersheds is very important, especially in arid and semiarid environments. In this regard, we should consider the whole process of erosion (destruction, transport and deposition), so that the relationship between inputs and outputs of the system are understood well. The Systematic view of geomorphology on the issue of erosion and sediment yield can be very effective and useful, considering the relationship between forms, materials and processes in the context of landform components. Recognizing the different processes of erosion and sediment production in the range of landform components can provide a more comprehensive and practical view of these processes in watersheds. Given the importance of the issue and the need to use digital elevation models in order to model the sediment yield variations, which have been recently considered, this study intends to analyze the relationship between the Landform components distribution and sediment yield in the Qarasu watershed, N.W. Iran.

2- Methodology

We use extensive and integrated statistical analysis of non-parametric ($\chi 2$) and parametric (regression) methods to understand the relationships between sediment yield (S.Y) variation (dependent variable) and distribution of components or classes of landforms (independent variable). 19 sub-watersheds, which have sufficient and reliable data of sediment yield (ton/y), were selected for analysis. As catchment area acts as a misleading variable in the relationships between sediment yield and physiographic variables, a specific sediment yield (S.S.Y) ($ton/km^2/y$) was used as a dependent variable. Also, an independent variable (landform components) was extracted of digital elevation model (DEM) with a resolution of 30 m. 6 landform classes, including 1- ridge 2- upperslope 3- midslope 4- toeslope 5- flat 6- valley, were delineated in the geographic information system (GIS) environment. Then, the percentage area of the landform classes was calulated as an independent variable. In order to perform the nonparametric test, it was necessary to convert the variables from quantitative to categorical and qualitative form. Classification of S.S.Y was done in 2 categories (low, high) and 3 categories (low, medium, high). Also, the classification (categorization) was done for the independent variable. These transformations and statistical tests were performed in the SPSS environment. The significance level of qualitative and quantitative tests were ≤ 0.05. It should be noted that the

[۲] **Corresponding Author: a_madadi@uma.ac.ir**

classes can be assumed to be both nominal and ordinal, ie low (1), medium (2) and high (3). Therefore, statistics related to the crosstabs can be obtained for both nominal and ordinal scales, indicating the quality and quantity of the relationships. On the other hand, the correlation test can be done in two ways, Pearson and Spearman.

3- Results

In the first step, results of the non-parametric analysis showed that there are significant relationships between the distribution of S.S.Y classes and the Landform components classes expect 2 landforms: valley and ridge. meanwhile, the importance and certainty of the relationship between midslope and S.S.Y was determined in respect to repetition of significant relations during three $\chi 2$ tests. In the next step, the results of Pearson correlation analysis showed the positive correlation between ridge, midslope, valley landforms and S.S.Y. On one hand, and the negative correlation between upperslope, lowerslope and flat ladforms and S.S.Y on the other hand. The highest and lowest correlation coefficients were observed in midslope ($R = 0.4$) and upperslope ($R = -0.03$) components, respectively. The Results of the latest test, the Spearman correlation test, were indicative of similarities with the $\chi 2$ test, showing the significant relationships between flat, toeslope, midslope landforms and S.S.Y. Although more contribution of the midslope in sub-watersheds area and higher difference among sub-watersheds in terms of midslope contribution influence its relations with S.S.Y,("but" not needed) close and direct relationship between the midslope area and S.S.Y is attributed to high sediment supply and the occurence of dynamic sediment transport within this landform component.

4- Discussion & Conclusions

Erosion and sediment yield (S.Y) within watersheds due to their extensive environmental dimensions as well as the complexity of the erosion process (destruction, transpotation and sedimentation) are the focus of systematic approach of geomorphology to provide useful and comprehensive knowledge of the inputs and outputs of the watershed system. Dividing the catchments into landform components and establishing a relationship between their distribution and S.Y of the catchments can be a key solution in this regard. In this research, applying the approach through both parametric (Regression) and non-parametric (Croostabs) statistical analyzes showed that important information about the relationships between landforms and S.Y can be acquireed at synthetic statistical method. Although the relationship between the independent and dependent variables in the qualitative test had superiority to the quantitative test in terms of the significance of the relationship, the type and strength of the relationship was determined by regression analysis. Meanwhile, the existence of a close and definite relationship between miidslope distribution and S.S.Y refred the necsessity for geomorphic prioritization of watershed management and soil protection measures in this landform class. In general, it seems that the classification of variables nominally and ordinally reduces the effects of residuals and makes the relationships of variables more meaningful. Furthermore, the distribution of landform components among the catchments and the existence of homogeneity/heterogeneity in this regard affect the quality and quantity of relationships, which is necessary to pay attention to in regional analysis of S.Y variations.

Keywords: Landform disrtibution, Qarasu, Sediment yield, Statistical analysis, Topography.