

**واژه‌های کلیدی:** جورشدگی هیدرولیکی، ریزش‌دهن رسوبات، اقلیم نیمه‌خشک، سنگ‌شناسی غیرهمگن.

### مقدمه

رودخانه یک سیستم دینامیکی است و متغیرهایی همچون شرایط اقلیمی، فیزیوگرافی، فعالیت‌های تکتونیکی و زمین‌شناسی بر روی سرعت و نوع جریان، عمق، میزان حمل و نقل رسوب و در نتیجه بر تشکیل رخساره‌های رسوبی نقش به‌سزایی ایفا می‌کنند [۴]. تغییر در اندازه مواد بستر در جهت پایین‌دست رودخانه اطلاعات مهمی را برای علوم مرتبط با حوزه آبخیز فراهم می‌کند که برای طراحی زیرساخت‌های مناسب، بازسازی بازه‌های تخریب شده کانال رودخانه و مدیریت کارآمد منابع آبی نظیر مخازن ضروری است. تغییر اندازه ذرات به سمت پایین دست عمدتاً بر روی رسوبات بستر متمرکز است و این رسوبات در تعیین ریخت‌شناسی و هیدرولیک کانال رودخانه‌ای اهمیت بیشتری دارند [۲ و ۲۴]. مطالعات قبلی نشان داده که توزیع اندازه ذرات بار بستر به شیب، شدت جریان، و حمل و نقل انتخابی ذرات بستگی دارد [۱۴ و ۱۵ و ۲۵]. حمل و نقل انتخابی ذرات در بستر رودخانه، سایش در طول حمل و نقل، و منابع رسوب جانبی از جمله فرآیندهای تأثیرگذار بر اندازه ذرات به سمت پایین دست می‌باشند [۶ و ۷]. حمل و نقل انتخابی زمانی غالب است که تنش برشی بستر کمی بالاتر از تنش برشی بحرانی برای حرکت ذرات باشد [۵]. بنابراین حمل و نقل انتخابی عمدتاً توسط قدرت هیدرولیکی نیروهای رودخانه کنترل می‌شود. برخی از مطالعات نقش حمل و نقل انتخابی را در روند ریزش ذرات رسوب به سمت پایین دست مهم‌تر از سایش مواد بستری دانسته‌اند [۱۹ و ۲۱]. شاخه‌های فرعی و منابع جانبی رسوب می‌توانند با وارد کردن رسوبات درشت‌تر باعث یک‌سری ناپوستگی رسوبی در رسوبات بستری شوند [۲۰]. به‌طورکلی، پذیرفته شده است که توزیع اندازه مواد بستر در جهت پایین دست کاهش می‌یابد، مگر آنکه موادی از رسوبات درشت از شاخه‌های فرعی یا کناره‌ها به رودخانه وارد شوند [۳ و ۲۳]. اما تغییر اندازه دانه‌ها در جهت پایین‌دست در رودخانه‌های با بستر گراولی معمولاً بسیار نامنظم بوده و اغلب از یک مدل ریزش‌ندگی ساده پیروی نمی‌کند [۲۰]. ویژگی‌های رسوبات علاوه بر رژیم هیدرولیکی و شیب کانال به سنگ‌شناسی حوضه زهکشی رودخانه نیز بستگی دارد. تغییر پارامترهایی نظیر اقلیم، ساختار و ترکیب زمین‌شناسی باعث پیچیدگی فرآیندهای

### بررسی روند تغییرات مورفومتری رسوبات به سمت پائین‌دست تحت تاثیر عوامل هیدرولوژیک و سنگ‌شناسی در حوضه ورتوان قزوین

جمال مصفايي<sup>۱</sup>، محمدرضا اختصاصي<sup>۲</sup>، محمدتقی دستوراني<sup>۳</sup>  
تاریخ دریافت: ۹۱/۰۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۹

### چکیده

تغییر در اندازه مواد بستر رودخانه اطلاعات مهمی را برای علوم مرتبط با حوزه آبخیز فراهم می‌کند. یکی از باورهای اساسی در سیستم‌های رودخانه‌ای، ریزش ذرات رسوبات در جهت پایین‌دست می‌باشد که طی چند دهه اخیر مطالعات زیادی را نیز معطوف خود نموده است. هدف از انجام این پژوهش، تعیین و تحلیل روند تغییر اندازه ذرات رسوبات بستر در آبراهه‌های حوضه آبخیز ورتوان (۴۸۱۱ هکتار) قزوین می‌باشد. بدین منظور تعداد ۲۵ نمونه از رسوبات آبراهه‌های درجه ۱ تا ۶ و ۳۰ نمونه، از خاک روی واحدهای مختلف سنگ‌شناسی حوضه جمع‌آوری و پس از دانه‌بندی، شاخص‌های مختلف مورفومتری محاسبه گردید. نتایج نشان داد که مطابق با جورشدگی هیدرولیکی و بر اساس روند کاهشی شیب و افزایشی طول آبراهه اصلی و مساحت حوضه زهکشی، اندازه رسوبات به سمت پائین‌دست باید ریزش شود ولی این روند تحت تاثیر سیلاب‌های اقلیم نیمه‌خشک و سنگ‌شناسی غیرهمگن حوضه قرار گرفته و اندازه رسوبات به سمت پائین‌دست درشت‌تر می‌شود. بنابراین روند تغییرات اندازه رسوبات حوضه ورتوان عمدتاً توسط اقلیم و سنگ‌شناسی حوضه کنترل می‌شود و هیدرولیک جریان فقط تغییرات ثانویه‌ای را بر روی روند کلی ایجاد می‌نماید. انتظار می‌رود که نتایج این پژوهش در حوضه‌های مناطق نیمه‌خشک و بویژه دارای واحدهای سنگ‌شناسی غیرهمگن سبب درک بهتر روند ترکیب نهشته‌های رسوبی به سمت پایین‌دست شود.

۱. دکتری آبخیزداری، دانشگاه یزد، پست الکترونیکی:

jamalmosaffaie@yahoo.com

۲. استاد گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه یزد

۳. دانشیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی دانشگاه فردوسی

فاصله از بالادست دارد. پاسبان و همکاران [۱۶] پس از بررسی رخساره‌های رسوبی در حوضه سرغایه سریش، نتیجه گرفتند که روند ریزشوندگی ذرات به سمت پایین دارای ناپوستگی‌هایی است که به دلیل ورود رسوبات درشت جانبی از شاخه‌های فرعی، افزایش شیب بستر، نمایان شدن سنگ بستر، تغییر در سنگ شناسی واحدهای زمین شناسی و فعالیت‌های تکتونیکی همچون وجود گسل در مسیر رودخانه است. آنها در بخش‌های پیوسته دارای روند ریزشونده به سمت پایین دست، دو عامل جورشدگی هیدرولیکی و سایش را به عنوان عوامل اصلی ریزشوندگی معرفی کردند.

مروری بر مطالعات گذشته نشان می‌دهد که روند تغییر اندازه ذرات رسوب در هر حوضه علاوه بر عوامل عمومی نظیر هیدرولیک جریان و سایش، می‌تواند متأثر از عوامل منطقه‌ای نظیر ویژگی‌های زمین‌شناسی، اقلیم و ورود رسوبات از کناره‌ها یا شاخه‌های جانبی باشد و در نتیجه مطالعات مورفومتری رسوبات بستر رودخانه برای هر حوضه می‌تواند باعث درک عمیق‌تر فرآیندهای هیدرولژیکی و هیدرولیکی حاکم بر حوضه و در نتیجه مدیریت بهتر آن شود. هدف از این پژوهش، تعیین و تحلیل روند تغییر اندازه ذرات رسوبات بستر و ارتباط آنها با خصوصیات فیزیوگرافی حوضه بالادست در حوضه سیلابی ورتوان استان قزوین می‌باشد.

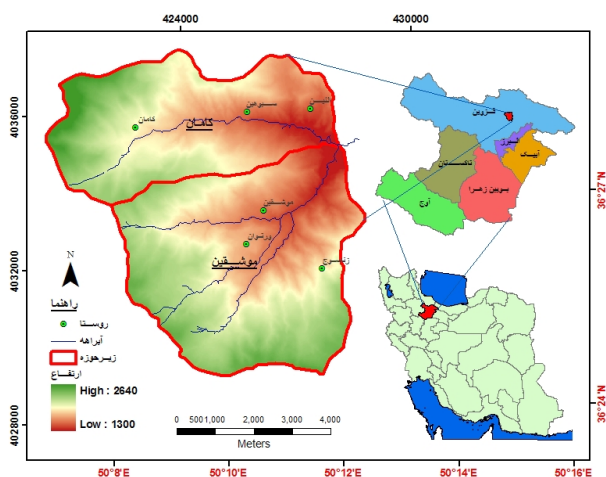
## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز ورتوان قزوین (۴۸۱۱ هکتار)، حوضه‌ای مستعد سیلاب و از نظر ترکیب سنگ‌شناسی بسیار غیرهمگن می‌باشد (شکل ۱). بطور کلی ارتفاعات بخش‌های میانی حوضه را سنگ‌های آهک شیلی و در قسمت‌هایی مادستون قرمز و توف‌های روشن پلاژیوکلادار (پالئوژن-سنوزوئیک) پوشش داده‌اند. واحدهای سنگی ارتفاعات میانی توسط ارتفاعات فوقانی محاط شده‌اند که شامل سنگ‌های آتشفشانی دوران سنوزوئیک بوده و در جنوب و غرب حوضه از آندزیت و در شمال شرق

انتقال و توزیع رسوب در مقیاس حوضه آبخیز می‌شود. رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک که رژیم جریان در آنها بسیار متغیر است نسبت به رودخانه‌های مناطق مرطوب، رسوبات بیشتری را به هنگام وقوع سیلاب‌های بزرگ و نادر حمل می‌کنند [۸ و ۱]. در چنین سیستم‌هایی که تاثیر سیلاب‌های بزرگ بیشتر است، مکانیسم‌های حمل و ترسیب نیز از نظر زمانی و مکانی متغیر بوده و از یکنواختی کمتری نسبت به مناطق مرطوب برخوردار است [۲۶]. این سیلاب‌ها با انرژی زیاد و فرسایش و رسوب شدید می‌توانند هندسه آبراهه را تغییر دهند. از طرفی سیلاب‌های این مناطق دارای توزیع زمانی یکنواختی نیز نیستند بطوریکه در یک سال دو یا چند سیلاب بزرگ و در چند سال بعد هیچ سیلابی رخ ندهد. بنابراین رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌توانند روند متفاوتی از تغییر معمول اندازه ذرات به سمت پایین دست داشته باشند [۹]. به علاوه اندازه ذرات متأثر از نوع بار رسوبی، زمین ساخت حوضه، تغییرات سطح اساس، تغییرات شیب کانال و هیدرولیک رودخانه است [۱۱]. جورشدگی هیدرولیکی به شکل، اندازه و چگالی ذرات بستگی دارد و در نتیجه حمل تدریجی ذرات دانه‌ریز و ته‌نشست ترجیحی ذرات درشت بوسیله نیروهای هیدرولیکی و خواص ژئومورفولوژی مانند کاهش شیب بستر رودخانه کنترل می‌شود [۱۹]. در زمینه تاثیر نسبی منابع بالادست بر رسوبات رودخانه‌ای، با هدف ایجاد ارتباط بین رسوبات بستر با سنگ‌شناسی بالادست نیز مطالعات معدودی انجام شده است [۱۷].

کاویان و همکاران [۱۳] روند تغییرات ویژگی‌های مورفومتری رسوبات بستر در جهت پایین دست رودخانه قلعه‌سر ساری را بررسی و نتیجه گرفتند که تغییرات اندازه مواد بستر و ویژگی‌های شکلی آن‌ها در جهت پایین دست از نظم خاصی تبعیت نکرده و روندی پیچیده دارد که بستگی به عوامل متعددی از قبیل ورود رسوبات از شاخه‌های فرعی و حاشیه کانال به رودخانه، وجود گسل، شیب آبراهه، تراکم آبراهه، وضعیت سنگ‌شناسی منطقه، و



شکل ۱- موقعیت آبخیز ورتوان در استان قزوین و کشور ایران

Figure 1. Location map of Vartavan catchment



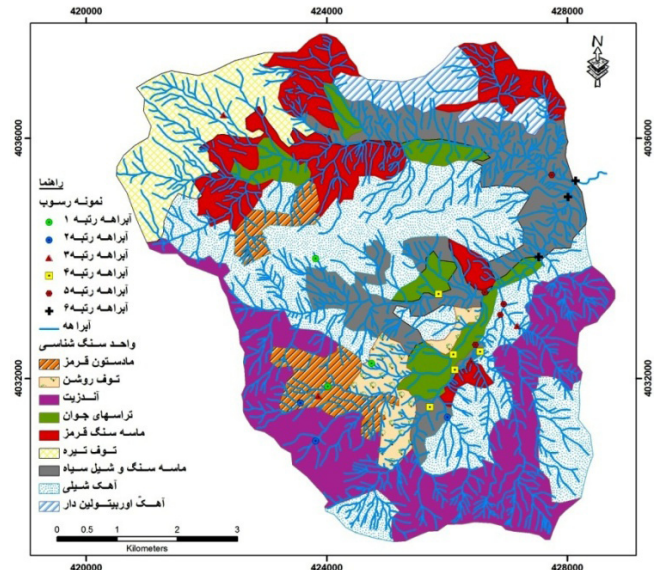
شکل ۳- نمایی از آبراهه دارای رتبه ۶  
Figure 3. View of a stream with order of 6.

سه نمونه (مجموعاً به تعداد ۲۵ نمونه) از رسوبات آبرفتی کف بستر در قسمتی که معرف آن مقطع از آبراهه باشد برداشت گردید. برای نمونه برداری از هر نقطه، ابتدا یک پلات یک متر مربعی را در نظر گرفته و رسوبات موجود در داخل آن به عمق ۱۵-۱۰ سانتی متر طوری برداشت شد که وزن بزرگترین ذره رسوبی در داخل نمونه بیشتر از پنج درصد وزن کل نمونه نباشد. در شکل ۳ نمایی از آبراهه دارای رتبه ۶ حوضه و رسوبات آن ارائه شده است.

پس از تدقیق مرز واحدهای سنگ شناسی با استفاده از تصاویر Google earth و تجزیه و تحلیل تصاویر ETM\* و کنترل گسترده صحرائی، از عمق ۵-۰ سانتی متری خاک موجود بر روی هر واحد سنگ شناسی نیز حداقل سه نمونه (مجموعاً به تعداد ۳۰ نمونه) برداشت گردید.

### دانه بندی نمونه ها و تعیین شاخص های گرانولومتری

دانه بندی نمونه ها در دو مرحله صحرائی و آزمایشگاهی انجام گرفت. ابتدا اجزای بزرگتر از ۴ سانتی متر در صحرا دانه بندی شده و وزن آنها محاسبه شد. عناصر با قطر کوچک تر از ۴ سانتی متر نیز پس از انتقال به آزمایشگاه در هوای آزاد و دمای اتاق خشک و کلوخه های آن با استفاده از چکش پلاستیکی خرد شد و بعد دانه بندی آنها بر اساس استاندارد بین المللی به روش ASTM انجام شد. بدین منظور قطرهای کوچکتر از ۰/۵ سانتی متر بوسیله دستگاه شیکر (الک های ۶۳، ۱۲۵، ۲۵۰ میکرون و ۱، ۲ و ۴ میلیمتر) به مدت ۲۰ دقیقه و قطرهای بین ۰/۵ تا ۴ سانتیمتری هم توسط الک های تهیه شده در قطرهای ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ سانتیمتر دانه بندی شدند و بعد وزن باقیمانده بر روی الک ها با کمک ترازوی دیجیتال (با دقت یک دهم گرم) محاسبه شد. نرم افزار GR-graph (اختصاصی و صارمی، ۱۳۸۳) شاخص های آماری دانه بندی را به روش ترسیمی فولک محاسبه می کند. در این برنامه کفایت که وزن هر دامنه قطری بدست آمده را وارد کرد تا محاسبات مربوط به شاخص های مختلف گرانولومتری از جمله قطر میانگین، قطر میانه (مد)، جورشدگی (ضریب یکنواختی)، چولگی و پخی انجام پذیرد. این نرم افزار همچنین نمودار دانه بندی



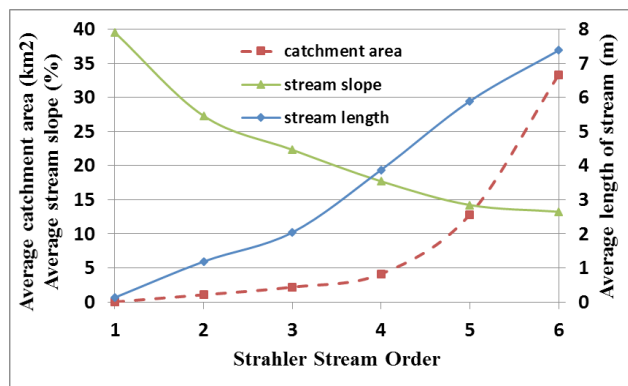
شکل ۲- سنگ شناسی حوضه ورتوان و نقاط نمونه برداری رسوب

Figure 2. Lithology and sampling points map of Vartavan catchment

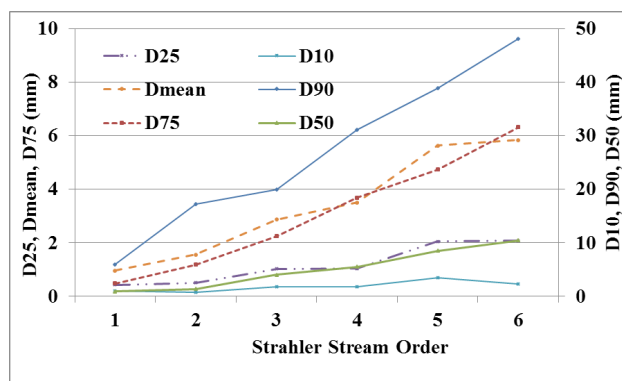
حوضه از توف های آتشفشانی تشکیل یافته اند. بخش های پایین دست حوضه که در قسمت جنوب شرقی و در مجاورت آبراهه های اصلی و خروجی حوضه (رتبه های ۵ و ۶) قرار دارد از سازند شمشک (ژوراسیک- مزوزوئیک) تشکیل شده است. دمای متوسط سالانه  $10/2$  درجه سانتی گراد، گرم ترین ماه سال تیر با متوسط دمای  $25/4$  و سردترین ماه سال دی با متوسط دمای  $0/4$  درجه سانتی گراد می باشد. متوسط بارش حوضه طی سال های  $1369$  تا  $1390$ ،  $372$  میلی متر و توزیع بارش از تمرکز در فصول به ترتیب زمستان ( $36/$ ٪)، بهار ( $32/$ ٪) و پاییز ( $30/$ ٪)، و خشکی منطبق بر تابستان ( $2/$ ٪) تبعیت می کند. از نظر تقسیم بندی اقلیمی دومارتن اصلاح شده، حوزه ورتوان دارای اقلیم نیمه خشک سرد می باشد. توزیع بسیار متغیر بارش در طی زمان باعث جایگزینی دوره های خشک با دوره های مرطوب و سیلابی می شود. علاوه بر استعدادهای اقلیمی، تیپ کوهستانی و شیب بالا (شیب متوسط حوضه  $40$  درصد) باعث می شوند که در این حوضه تندسیلاب های زیادی رخ دهد که می توانند مقادیر زیادی رسوبات آبرفتی را حمل و هندسه آبراهه را تغییر دهند.

### نمونه گیری از رسوبات بستر و واحدهای سنگ شناسی

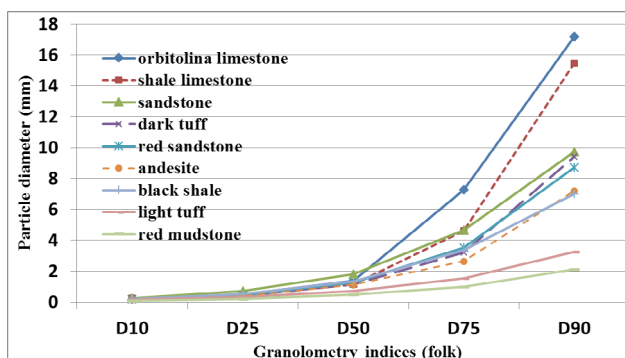
در حوزه های آبخیز آبراهه های مناطق بالادست و سرشاخه ها دارای درجات پائین بوده و به سمت پائین دست و پس از اتصال آنها، رتبه آبراهه افزایش می یابد. بر اساس همین فرض و پس از تهیه نقشه آبراهه ها و رتبه بندی آنها به روش استراهلر، ابتدا نقشه نقاط نمونه برداری تهیه شد (شکل ۲). با در نظر گرفتن هر یک از نقاط نمونه برداری به عنوان خروجی، مشخصات فیزیوگرافی حوزه آبخیز بالادست آن محاسبه شد. در مرحله بعد، از هر رتبه آبراهه حداقل



شکل ۴- نمودار رابطه رتبه آبراهه نقاط نمونه برداری رسوب با مشخصات فیزیوگرافی حوضه بالادست  
 Figure 4. Relationship diagram between stream order of sampling points and upstream catchment characteristics.



شکل ۵- نمودار رابطه رتبه آبراهه با میانگین شاخص های قطر ذرات رسوب  
 Figure 5. Relationship diagram between stream order and diameter indices mean of sediment particles.



شکل ۶- نمودار شاخص های دانه بندی واحدهای سنگ شناسی  
 Fig6. Granulometry indices diagram of lithological units.

نمونه ها و منحنی تجمعی فراوانی را ارائه می دهد.

### نتایج

بررسی رابطه رتبه آبراهه نقاط نمونه برداری رسوب با ویژگی های فیزیوگرافی حوضه بالادست نشان می دهد که با افزایش رتبه آبراهه میزان طول آبراهه اصلی و مساحت حوضه زهکشی افزایش ولی میزان شیب ناخالص آبراهه اصلی کاهش یافته است (شکل ۴). نتایج تجزیه و تحلیل مورفومتری برای کلیه نمونه های رسوب که

در نرم افزار Gr-graph محاسبه گردید در جدول ۱ ارائه شده است. برای تحلیل آسان تر رابطه رتبه آبراهه با شاخص های مورفومتری رسوبات و روند تغییر قطر ذرات به سمت پایین دست، نمودار میانگین شاخص های مختلف قطر ذرات رسوب و رتبه آبراهه در شکل ۵ ارائه شده است. بر این اساس مشاهده می شود که با افزایش رتبه آبراهه به سمت پایین دست، یک روند افزایشی قطر ذرات برای تمامی شاخص های قطری وجود دارد. میانگین شاخص های مورفومتری نمونه های خاک موجود بر روی



جدول ۱ - شاخص‌های دانه‌بندی (mm) و ویژگی‌های حوضه بالادست نقاط نمونه‌برداری رسوب

Table 1. Granulometry indices (mm) and upstream catchment characteristics of sampling points

نمونه	رتبه آبراهه	واحد سنگ‌شناسی	D <sub>median</sub>	D <sub>mean</sub>	D <sub>10</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>90</sub>
Sample	Stream order	Lithology unit							
1	6	ماسه‌سنگ	5.6	4.7	0.3	0.9	5.6	26.6	41.8
2	6	ماسه‌سنگ	12.5	5.9	0.4	2	12.5	33.1	49.4
3	6	ماسه‌سنگ	13.2	6.9	0.7	3.3	13.2	34.9	53.1
4	5	ماسه‌سنگ	8.8	4.9	0.3	1.4	8.7	30.9	52.3
5	5	ماسه‌سنگ قرمز	11.6	7.4	1.1	2.8	11.6	32.4	49.4
6	5	ماسه‌سنگ	8.3	5.8	0.6	2.3	8.3	16.3	26.2
7	5	آهک شیلی	1.3	1.3	0.2	0.5	1.3	3.4	9.8
8	5	آهک شیلی	10.3	6.6	0.7	2.3	10.3	30.6	51.3
9	5	ماسه‌سنگ	3.4	3.4	0.7	1.4	3.4	8	15.3
10	4	ماسه‌سنگ	3.7	2.2	0.2	0.7	3.7	16.9	30.2
11	4	ماسه‌سنگ	8.2	5.1	0.3	1.3	8.2	29.3	53.2
12	4	ماسه‌سنگ	10.1	5.4	0.5	1.4	10.1	33	49.4
13	4	ماسه‌سنگ	1.7	1.7	0.3	0.7	1.7	3.6	7.3
14	4	تراس‌های جوان	3.8	3.1	0.4	1.1	3.8	9.1	15.1
15	3	مادستون قرمز	2	1.9	0.2	0.7	2	5.9	12.8
16	3	شیل ذغالی	11.5	6.4	0.6	2.4	11.4	32.5	51.2
17	3	آهک شیلی	2.7	2.5	0.3	0.9	2.7	7.6	14.9
18	3	توف تیره	4.9	3.2	0.2	0.7	4.9	13.7	24.1
19	2	آندزیت	1.4	1.8	0.1	0.5	1.4	8.4	24.6
20	2	مادستون قرمز	0.7	0.8	0.2	0.3	0.7	1.4	6.3
21	2	شیل ذغالی	2.3	2.4	0.6	1.1	2.3	6.2	9.9
22	1	مادستون قرمز	0.4	0.4	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6
23	1	توف روشن	1.5	1.4	0.3	0.7	1.5	2.9	6.4
24	1	آهک شیلی	1.1	1.5	0.2	0.5	1.1	4.8	13.7
25	1	توف روشن	0.5	0.5	0.2	0.3	0.5	1	1.9

آبراهه اصلی و مساحت حوضه زهکشی، باید شاهد روند ریزش ذرات رسوب به سمت پائین‌دست باشیم ولی نتایج نشان داد که بطور کلی در حوضه ورتوان روند تغییرات ویژگی‌های رسوب متفاوت از سیستم‌های آبرفتی مناطق مرطوب و یا مناطق همگن از نظر زمین‌شناسی است و روند تغییرات اندازه رسوبات به سمت پایین دست (آبراهه‌های رتبه یک تا آبراهه‌های رتبه شش) عمدتاً توسط سنگ‌شناسی حوضه کنترل می‌شود و تغییرات هیدرولیکی باعث ایجاد تغییرات ثانویه‌ای بر روی روند کلی می‌شود که هیتمولر و همکاران [۱۰] نیز به نتیجه مشابهی در خصوص تاثیر زمین‌شناسی بر روند ریزش ذرات رسیده بودند. حوضه ورتوان دارای اقلیم نیمه‌خشک است که بر اساس نتایج

واحدهای مختلف سنگ‌شناسی حوضه نیز در جدول ۲ ارائه شده است.

شکل ۶ نشان می‌دهد که می‌توان خاک‌های موجود بر روی واحدهای سنگی آهکی و ماسه‌سنگی را جزو خاک‌های درشت‌دانه حوضه، خاک‌های واحدهای توف تیره و آندزیت را جزو خاک‌های متوسط‌دانه و خاک‌های واحدهای مادستون قرمز، شیل ذغالی و توف‌های روشن را جزو خاک‌های ریزدانه حوضه محسوب کرد.

### بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس قوانین حمل و نقل انتخابی و جورشدگی هیدرولیکی و مطابق با روند کاهش شیب حوضه و برعکس روند افزایشی طول

جدول ۲- میانگین شاخص‌های دانه‌بندی (mm) واحدهای سنگ‌شناسی حوضه ورتوان  
Table 2. Granulometry indices mean (mm) of lithological units of Vartavan catchment

واحد سنگ‌شناسی	تعداد نمونه	$D_{median}$	$D_{mean}$	$D_{10}$	$D_{25}$	$D_{50}$	$D_{75}$	$D_{90}$
Lithology unit	Number of samples							
orbitolina	3	1.39	16.9	0.17	0.5	1.39	7.28	17.18
limestone								
shale limestone	6	1.14	1.45	0.24	0.46	1.14	4.62	15.46
sandstone	3	1.83	1.74	0.27	0.72	1.83	4.68	9.72
dark tuff	3	1.16	1.15	0.12	0.41	1.16	3.2	9.44
red sandstone	3	1.25	1.18	0.17	0.45	1.25	3.54	8.71
andesite	3	1.11	0.98	0.13	0.38	1.11	2.64	7.21
black shale	3	1.33	1.29	0.22	0.53	1.33	3.36	7.02
light tuff	3	0.71	0.7	0.16	0.33	0.71	1.53	3.27
red mudstone	3	0.47	0.45	0.09	0.2	0.47	1.01	2.14

زهکشی می‌کنند. در آبراهه‌های درجه ۵ و ۶ کناره‌های آبراهه از ذرات ماسه درشت تا سنگریزه ریز تشکیل شده است که سبب افزایش قطر رسوبات بستر آبراهه می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه جریان آبراهه و جورشدگی هیدرولیکی به مقدار زیادی بر فرآیندهای آبرفتی و هندسه آبراهه تاثیر می‌گذارند ولی سنگ‌شناسی سطح حوضه و ریزش ذرات درشت‌دانه از کناره‌ها به داخل بستر باعث افزایش روند اندازه ذرات در آبراهه‌های پایین دست شده است.

به عنوان نتیجه‌گیری کلی اگرچه جورشدگی هیدرولیکی (حمل و نقل انتخابی) و سایش جزو عوامل عمومی و اصلی در کاهش اندازه ذرات رسوب است، ولی در حوضه ورتوان این عوامل تحت تاثیر عوامل منطقه‌ای نظیر تفاوت واحدهای سنگ‌شناسی در بالادست و پائین‌دست حوضه و سیلاب‌های اقلیم نیمه‌خشک حوضه قرار گرفته‌اند. این شرایط باعث شده تا روند تغییر اندازه ذرات به سمت پائین‌دست، دارای شیب افزایشی باشد. انتظار می‌رود که نتایج این پژوهش در حوضه‌های مناطق نیمه‌خشک و بویژه دارای واحدهای سنگ‌شناسی متفاوت، سبب درک بهتر روند ترکیب نهشته‌های رسوبی به سمت پایین‌دست شود. به هر حال کاربرد مدل‌هایی که دارای فرض ریز شدن ذرات رسوب به سمت پایین‌دست هستند می‌تواند در حوضه ورتوان و حوضه‌های شبیه به آن (سنگ‌شناسی غیرهمگن و اقلیم نیمه‌خشک) که دارای روند درشت شدن ذرات به سمت پایین‌دست هستند یک چالش جدی باشد.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از خانم زهرا فریدکیا که در تمامی مراحل تهیه مقاله و بخصوص جمع‌آوری نمونه‌ها، دانه‌بندی و تعیین شاخص‌های مورفومتری، کمک شایانی نمودند قدردانی می‌نمایند.

هادسون و هیتمولر [۱۲]، رودخانه‌های این مناطق می‌توانند روند متفاوتی از تغییر معمول اندازه ذرات به سمت پایین‌دست داشته باشند زیرا در چنین شرایطی که تنش برشی بیشتر جریان‌ات، از آستانه حمل تمامی ذرات داخل بستر بیشتر است، انتقال ذرات ریز و درشت بستر به یک میزان صورت می‌پذیرد. از نقطه‌نظر سنگ‌شناسی و ژئومورفولوژی نیز نرخ و الگوهای تفریقی هوازدگی در حوضه ورتوان بر میزان حصر دره آبراهه و ترکیب رسوبات تاثیر گذاشته است. هوازدگی فیزیکی و شیمیایی زیاد واحدهای سنگی بالادست حوضه باعث ایجاد دره‌های عریض در بخش‌های فوقانی حوضه شده است. در حالیکه در بخش‌های پایینی حوضه، به دلیل مقاومت نسبتاً زیاد ماسه‌سنگ، آبراهه‌های این بخش از حوضه با کاهش عرض دره و محدود شدن نهشته‌های آبرفتی و افزایش برونزدهای سنگی همراه است و از طرفی این واحد با وجود مقاومت نسبتاً زیاد، بیشتر رسوبات در اندازه ماسه خیلی درشت تا سنگریزه را تحویل شبکه آبراهه‌ای می‌دهد. هوازدگی واحدهای سنگی مادستون قرمز، توف‌های روشن، شیل ذغالی و آندزیت که نقاط نمونه‌برداری رسوب از آبراهه‌های دارای رتبه ۱ و ۲ می‌باشند باعث ایجاد خاک‌های نسبتاً ریز تا متوسط‌دانه (ماسه متوسط تا درشت) بر روی آنها می‌شود و در نتیجه رسوبات آبراهه‌های موجود در آنها نیز ریزدانه می‌باشد. از طرفی این رتبه‌های آبراهه در بخش‌های مرتفع حوضه ورتوان (ارتفاع بیشتر از ۱۸۰۰ متر) قرار گرفته‌اند که دارای بارش به شکل برف (عکس‌العمل کند هیدرولوژیکی) بوده و به دلیل رتبه پائین هنوز دارای دبی قابل توجهی نیستند که سبب جورشدگی هیدرولیکی رسوبات آنها شود. جریان آب در آبراهه‌های درجه ۵ و ۶ از واحدهای سنگ‌شناسی آهک شیلی و ماسه‌سنگ عبور می‌کند. واحدهای آهک شیلی و ماسه‌سنگ پس از هوازدگی مقادیر زیادی ذرات درشت‌دانه (ماسه خیلی درشت تا سنگریزه ریز) را وارد شبکه

natural levee deposits in a large fine-grained floodplain: lower Pánuco basin, Mexico. *Geomorphology* 56, 255–269.

13- Kavian, A.A., Adineh, F., Vahabzadeh, Gh., Khaledi Darvishan, A.V. 2013. Spatial variation of bedload shape characteristic towards downstream (Case Study: Ghalesar watershed, Sari). *Journal of Range and Watershed Management*. (In Persian)

14- Muskatirovic, J. 2007. Analysis of bedload transport characteristics of Idaho streams and rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33, 1757-1768.

15- Nino, Y. 2002. Simple model for downstream variation of median sediment size in Chilean rivers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(10), 934-941.

16- Paseban, E., Mahmoudi Gharai, M.H., Mahboubi, A., Khanehbad, M., Taghdisi Nikbakht, S. 2013. Analysis of sedimentary facies and sediment fining in Sarghayeh- Sarnish watershed (South of Mashhad). *Sedimentary Facies* 5 (2): 153-168. (In Persian)

17- Phillips, J.D., Slattery, M.C., Musselman, Z.A., 2004. Dam-to-delta sediment inputs and storage in the lower Trinity River, Texas. *Geomorphology* 62, 17–34.

18- Pizzuto, J.E. 1995. Downstream fining in a network of gravel-bedded rivers. *Water Resources Research*, 31(3), 753-759.

19- Rengers, F., & Wohl, E., 2007. Trend of grain sizes on gravel bars in the Rio Chagres, Panama. *Geomorphology*, 83: 282-293.

20- Rice, S., & Church, M., 1998. Grain size along two gravel-bed rivers: statistical variation, spatial pattern and sedimentary links. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23: 345-363.

21- Rice, S., 1999. The nature and controls on downstream fining within sedimentary links. *Journal of Sedimentary Research* 69, 32–39.

22- Rice, S.P., & Church, M., 2010. Grain-size sorting within river basin relation to downstream fining along a wandering channel. *Sedimentology*, 57: 232-251.

23- Sadeghi, S.H.R., Khaledi Darvishan, A., Vafakhah, M. and Gholami, L. 2007. Study on changes

1- Baker, V.R., 1977. Stream-channel response to floods, with examples from central Texas. *Geological Society of America Bulletin* 88, 1057–1071.

2- Church, M., 2006. Bed material transport and the morphology of alluvial river channels. *Annual Rev. Earth Planet Sci.*, 34: 325-354.

3- Demir, T. 2003. Downstream changes in bed material size and shape characteristics in a small upland stream, Cwm Trewern, in South Wales. *Bulletin of Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University, Yerbilimleri*, 28, 33-47.

4- Demoulin, A., 2011. Basin and river profile morphometry: A new index with a high potential for relative dating of tectonic uplift. *Geomorphology*, 126: 97-107.

5- Duan, J.G., & Scott, S., 2007. Selective bedload transport in Las Vegas Wash, a gravel-bed stream. *Journal of Hydrology*, 342: 320-330.

6- Frings, R.M., 2008. Downstream fining in large sand-bed rivers. *Earth Science Reviews*, 87: 39-60.

7- Ghoshal, K., Mazumder, B.S., & Purkait, B., 2010. Grain-size distributions of bed load: Inferences from flume experiments using heterogeneous sediment beds. *Sedimentary Geology*, 223: 1-14.

8- Gupta, A., 1988. Large floods as geomorphic events in the humid tropics. In: Baker, V.R., Kochel, R.C., Patton, P.C. (Eds.), *Flood Geomorphology*. Wiley, New York, pp. 301–315.

9- Hassan, M.A., 2005. Characteristics of gravel bars in ephemeral streams. *Journal of Sedimentary Research* 75, 29–42.

10- Heitmuller, F.T. and Hudson, P.F. 2009. Downstream trends in sediment size and composition of channel-bed, bar, and bank deposits related to hydrologic and lithologic controls in the Llano River watershed, central Texas, USA. *Geomorphology*, 112, 246–260.

11- Hoey, T.B., & Bluck, B.J., 1999. Identifying the controls on downstream fining gravels. *J. Sediment. Res.* 69A: 40-50.

12- Hudson, P.F., Heitmuller, F.T., 2003. Local- and watershed-scale controls on the spatial variability of

26- Wolman, M.G., Gerson, R., 1978. Relative scales of time and effectiveness of climate in watershed geomorphology. *Earth Surface Processes* 3, 189–208.

in morphometric characteristics of bed materials (case study: Vaz watershed, Mazandaran). *Journal of the Iranian Natural Resources*, 4, 1197-1185. (In Persian)

24- Surian, N. 2002. Downstream variation in grain size along an Alpine river: analysis of controls and processes. *Geomorphology*, 43, 137-149.

25- Whitaker, A. and Potts, C. 2007. Coarse bed load transport in an alluvial gravel bed stream, Dupuyer Creek, Montana. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(13), 1984-2004.



*Abstract*

## Evaluation of Downstream Trends in Sediment Morphometric Characteristics Affected by Hydrologic and Lithologic Controls in Vartavan Catchment

J. Mosaffaie<sup>1</sup>, M.R. Ekhtesasi<sup>2</sup>, M.T. Dastorani<sup>3</sup>

Received: 2014/06/02      Accept: 2015/03/10

Downstream trends in sediment size variation provide valuable information for related catchment sciences. Downstream sediment fining is one of basic beliefs in the river systems and numerous studies have also been conducted in this regard during recent decades. The main goal of this study was to determine and analyze downstream trend of sediment size in the streams of Vartavan catchment (4811 ha) in Qazvin province. For this purpose, 25 sediment samples from streams with rank 1 to 6 and 30 soil samples of various lithology units were collected. Various morphometric indices were determined after grain size analyses. The results showed according to hydraulic sorting rules and based on decreasing slope and increasing main channel length and drainage area, the particle size of channel-bed material must be fine downstream. But particle size of channel-bed material increases downstream, and downstream trend was affected by floods of semi-arid climate and heterogeneous lithology of catchment. Therefore downstream trends of sediment particle size is predominantly controlled by catchment climate and lithology, and hydraulic variations impose secondary role to the overall trend. Results of this study are expected to improve our understanding of downstream trends in the composition of alluvial deposits of semi-arid and geologically heterogeneous catchments.

**Keywords:** *Hydraulic Sorting, Downstream Fining, Semi- Arid Climate, Heterogeneous Lithology.*

---

1. PhD. student of Watershed Management, Yazd University Corresponding Author Email: (jamalmosaffaie@yahoo.com)

4- M.Sc. student of Soil Science in Agriculture Faculty, University of Zanjan, Iran,

4- M.Sc. student of Soil Science in Agriculture Faculty, University of Zanjan, Iran,