



دانشگاه گواران

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره دوم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.13919.2867

بررسی آزمایشگاهی تأثیر شکل کلاسترهای مختلف بر ضریب مقاومت جریان

*مسعود کرباسی^۱، محمد قاسمیان^۲ و مهدی اسدی^۳

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زنجان، دانش‌آموخته کارشناس ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه زنجان،

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱/۲۶

چکیده

سابقه و هدف: بررسی ضریب مقاومت در جریان‌ها به‌ویژه در جریان‌های آزاد، کانال‌ها و رودخانه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از عوامل تأثیرگذار بر مقاومت جریان شکل بستر در آبراهه‌ها می‌باشد. ریزساختارهای کلاستری از جمله شکل‌های بستر در رودخانه‌های مناطق کوهستانی می‌باشند که از نظر بیولوژیک و همچنین هیدرولیک ریزجریان‌ها (جریان‌های ثانویه) دارای اهمیت هستند. مطالعه در زمینه شناخت و تأثیرات کلاسترها در سرتاسر دنیا بسیار نوپا بوده است. هدف پژوهش حاضر بررسی آزمایشگاهی تأثیر شکل کلاستر و اندازه ذرات سازنده کلاسترها بر ضریب زبری جریان می‌باشد.

مواد و روش‌ها: برای بررسی تأثیر شکل و اندازه ذرات تشکیل‌دهنده کلاسترها، آزمایش‌هایی در یک کانال آزمایشگاهی به طول ۲۰ متر، عرض ۰/۶ متر و ارتفاع ۰/۶ متر انجام گرفت. با استفاده از ذرات سنگریزه با سه اندازه متفاوت ۹/۵، ۱۲/۵، ۱۵/۵ میلی‌متری در فلوم آزمایشگاهی، کلاسترهای با شکل‌های کپه‌ای، خطی و حلقه‌ای ساخته و مورد بررسی قرار گرفتند. دو ضریب زبری داری و سیسباخ و مانینگ با استفاده از اندازه‌گیری شیب سطح آب محاسبه گردیدند.

یافته‌ها: نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کلاسترهای خطی شکل دارای کم‌ترین تأثیر بر میزان ضریب مقاومت جریان هستند. کلاسترهای حلقه‌ای و کپه‌ای دارای ضریب زبری بیشتری نسبت به کلاستر خطی هستند ولی هر دو تقریباً دارای تأثیر یکسانی بر مقاومت جریان هستند. نتایج این دو شکل از کلاستر، برای ذرات ۹/۵ و ۱۲/۵ میلی‌متری بسیار نزدیک به هم بوده ولی برای ذرات ۱۵/۵ میلی‌متری ضریب زبری کلاستر کپه‌ای بالاتر از ضریب زبری اشکال دیگر است. همچنین با افزایش قطر ذرات سنگریزه سازنده کلاسترها میزان ضریب زبری مانینگ افزایش پیدا می‌کند. با انجام آزمایش‌ها با ذرات سنگریزه با قطرهای مختلف، درصد تغییرات ضریب زبری نسبت به حالت بدون کلاستر برای کلاستر کپه‌ای در ذرات ۹/۵، ۱۲/۵ و ۱۵/۵ میلی‌متر به ترتیب ۴۷، ۵۲ و ۷۵ بوده است. برای کلاسترهای حلقه‌ای شکل و ذرات ۹/۵، ۱۲/۵ و ۱۵/۵ میلی‌متری درصد تغییرات به ترتیب ۴۸، ۴۹ و ۷۵ درصد به دست آمدند و این درصد برای کلاسترهای خطی شکل برای ذرات ۹/۵ میلی‌متری ۱۹ درصد و ذرات ۱۲/۵ و ۱۵/۵ میلی‌متری به ترتیب ۳۷ و

* مسئول مکاتبه: m.karbasi@znu.ac.ir

۶۷ درصد مشاهده شدند که نشان‌دهنده افزایش مقاومت جریان با افزایش اندازه قطر ذرات است. همچنین نتایج نشان داد که در آزمایش‌ها افزایش عدد فرود موجب کاهش ضریب زبری می‌گردد.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها این نکته را به خوبی روشن ساخت که بسترهای کلاستری با اثرگذاری بر روی جریان باعث افزایش ضریب مقاومت می‌گردد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کلاسترهای کپهای دارای بیش‌ترین اثر بر مقاومت جریان هستند.

واژه‌های کلیدی: ضریب زبری، ریزساختارهای کلاستر، کلاستر خطی، کلاستر کپهای، کلاستر حلقه‌ای

مقدمه

رودخانه‌های با بستر شنی رودخانه‌هایی هستند که بر روی مواد خیلی درشت در محدوده شن، قلوه‌سنگ و تخته‌سنگ جریان می‌یابند. اگرچه این رودخانه‌ها مقادیر مشخصی از مواد ریزدانه را نیز حمل می‌کنند، ولی آن‌ها به‌طور قابل‌توجهی با رودخانه‌های آبرفتی که بر روی ماسه جریان دارند، فرق می‌کنند (۲). یکی از مهم‌ترین خصوصیات رودخانه‌های با بستر شنی، متغیر بودن توپوگرافی بستر آن‌ها می‌باشد. این توپوگرافی از فرم‌های بستر کوچک مقیاس که به‌عنوان کلاستر شناخته می‌شوند، تا فرم‌های بستر متوسط و بزرگ‌مقیاس مانند استخر-ریفل، پله استخری و آنتی‌دیون‌ها متغیر است. ریزفرم‌های خوشه‌ای و یا خوشه‌ها، ریزشکل‌هایی هستند که در تعدادی از رودخانه‌های با بستر شنی مشاهده شده‌اند (۴).

کلاستر در لغت به معنی خوشه تشکیل شده از سنگ و ریگ و یا نقش و نگاری که با سنگ ایجاد می‌شود است (۱۷ و ۱۹)، اما اصطلاح کلاستر به ذرات که به یک شکل منظم و سازمان‌یافته‌ای گرد هم آمده‌اند اطلاق می‌گردد (۲۰). در واقع کلاسترها گروه‌های از ذرات جدا از هم هستند که به‌صورت سازمان‌یافته‌ای در بالای تراز متوسط سطح بستر اطراف قرار گرفته‌اند (۱۱) (شکل ۱). یک ویژگی مهم رودخانه‌های با بستر درشت متغیر بودن توپوگرافی آن‌ها است، این بستر از ریزفرم‌های تحت عنوان

کلاستر تشکیل می‌شود (۱۲ و ۱۴). کلاسترها یکی از انواع ریزساختارهای بسترهای شنی هستند که در رودخانه‌های با بستر شنی می‌توان یافت کرد (۱۵).

ایجاد کلاسترها را می‌توان به فرونشست سریع سیل‌ها نسبت داد (۵ و ۶). برای ایجاد کلاسترها لازم است که چند قطعه که از لحاظ ابعادی بزرگ‌تر هستند گرد هم آمده و یک مجموعه را ایجاد کنند. یک کلاستر به‌طور معمول از یک ذره بزرگ‌تر که به‌عنوان مانع عمل می‌کند تشکیل شده است. اندازه این ذره بزرگ‌تر در بیش‌تر موارد بزرگ‌تر از D_{84} است، بالادست این مانع، تجمعی از ذرات روی هم قرار خواهند گرفت و در پایین‌دست آن دنباله‌ای از ذرات ریزتر به وجود می‌آیند (۱۶). ساختمان‌های کلاستری به‌عنوان مانعی در برابر آزادسازی رسوبات آلوده و نگهداشتن رسوبات ریزدانه عمل می‌کنند، که این رسوبات باعث مدفون شدن و از بین رفتن تخم‌های آبزیان می‌گردند (۱۷). هنگامی که تعداد زیادی ذرات به‌صورت یک توده در می‌آیند، به‌نظر می‌آید که کلاسترها لایه‌های سنگفرشی مجزا از همی را تشکیل می‌دهند. کلاسترها به‌عنوان ساختارهای اتلاف انرژی در بستر به حساب می‌آیند. پیش‌بینی شکل‌گیری کلاسترها و مشخصات هندسی آن‌ها به‌منظور بهبود کیفیت آب رودخانه‌ها و حداقل کردن تأثیرات زیان‌آور رسوبات ریز بر آبراه‌ها دارای اهمیت زیادی در مهندسی رودخانه می‌باشد (۱۰). حرکت مصالح رسوبی

بر روی ضریب زبری و در نتیجه مقاومت در مقابل جریان و شناخت هرچه بیش تر فرم بستر از اهمیت خاصی برخوردار است. از آنجا که محاسبات دبی-اشل رودخانه و سرعت جریان کاملاً به تعیین زبری فرم بستر بستگی دارد، شناخت فرمهای بستر از اهمیت زیادی برخوردار هستند (۱۳).

بستر ناشی از تنش برشی اعمال شده از طرف جریان آب نسبت به حالت آستانه ذرات، سبب ایجاد ناهمواریهای در بستر تحت عنوان شکل بستر در رودخانهها می‌گردد. از کل تنش برشی وارده به بستر رودخانه، مقداری صرف تشکیل فرم بستر شده که این بخش به عنوان بخشی از مقاومت در مقابل جریان محسوب خواهد شد. بنابراین تأثیر مستقیم شکل بستر



شکل ۱- تشکیل کلاسترها (کلاستر خطی) در بستر رودخانه (رودخانه زاینده رود).

Figure 1. Cluster microforms at river bed (ZayandeRud River).

کرباسی و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی به بررسی تشخیص شرایط ایجاد کلاسترها در جریان‌های با بستر شنی پرداختند. از نتایج مهم این پژوهش همچنین می‌توان به این نکته اشاره کرد که بر خلاف عقاید قبلی که تشکیل کلاسترها با رسوبات هم‌اندازه را غیرممکن می‌دانست ثابت گردید با رسوبات یکنواخت نیز کلاسترها تشکیل می‌شوند به نظر می‌رسد علت این امر تلاطم در جریان می‌باشد، همچنین ثابت گردید کلاسترها با شروع به حرکت موضعی ذرات در بستر، شروع به تشکیل می‌کنند (۱۱). هیز و همکاران (۲۰۱۴) تشکیل و تجزیه کلاسترها را در آزمایشگاه و با استفاده از تکنیک فتوگرامتری و سنگ‌های رنگ‌آمیزی شده مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که تعداد کلاسترها و مساحت تحت پوشش آن‌ها با گذشت زمان آزمایش افزایش می‌یابد. حداکثر مساحت تحت پوشش در آزمایش‌ها از ۵ الی ۳۴ درصد به دست آمد (۸).

همتی و وفا (۲۰۱۶) در پژوهشی به بررسی تأثیر شکل ذرات سنگریزه بر ضریب زبری مانینگ در رودخانه‌های کوهستانی پرداختند (۹). برای این منظور از دو نوع سنگریزه طبیعی نسبتاً گردگوشه و شکسته تیزگوشه استفاده کردند، نتایج پژوهش نشان داد که با افزایش اندازه سنگریزه و شیب بستر آبراهه و کاهش استغراق نسبی مقدار ضریب زبری مانینگ افزایش می‌یابد. نتایج هم‌چنان نشان داد که ضریب زبری مانینگ ذرات تیزگوشه بیش‌تر از ضریب زبری مانینگ برای ذرات گردگوشه است (۹). هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر شکل کلاسترها و اندازه ذرات تشکیل‌دهنده آن بر فاکتور اصطکاک جریان می‌باشد. مرور منابع صورت گرفته در این زمینه نشان می‌دهد که تاکنون پژوهشی در این زمینه صورت نگرفته است.

بیگز و همکاران (۱۹۹۷) طی پژوهش‌های بیولوژیکی خود نشان دادند که درزها و شکاف‌های ساختار کلاسترها محل مناسبی برای پناه گرفتن آبزیان هستند، همچنین آن‌ها ثابت کردند که در مناطقی که کلاسترها در بستر وجود دارند، بعد از سیلاب‌های شدید ۵۰ درصد جمعیت آبی کاهش یافته بود در حالی که در مناطق فاقد کلاستر ۹۵ درصد جمعیت آبی کاهش می‌یابد (۳).

پاپانیکیولا و شویلر (۲۰۰۳) در پژوهشی تأثیر کلاسترها را بر سرعت طولی مورد بررسی قرار دادند. نتایج اولیه آزمایش‌ها نشان می‌داد که وجود کلاستر در بستر باعث افزایش سرعت در روی و پایین دست کلاسترها می‌شود و همچنین فاکتور اصطکاک را در این نواحی کاهش می‌دهد (۱۵). استروم و پاپانیکیولا (۲۰۰۸) در یک پژوهش میدانی بر روی دو رودخانه در آمریکا به بررسی ریخت‌شناسی کلاسترها پرداختند (۱۸). نتایج ایشان نشان داد که مشخصات هندسی کلاسترها به نسبت زیادی متأثر از اندازه بزرگ‌ترین ذره سازنده کلاستر می‌باشد. همچنین نتایج ایشان نشان داد که تنوع در کلاسترها بر روی ویژگی‌های جریان در پایین دست و همچنین زبری بستر نیز تأثیرگذار است (۱۸).

در بررسی آزمایشگاهی که توسط اسماعیلی و همکاران (۲۰۰۹) صورت پذیرفت، تأثیر فرم‌های مختلف بستر بر ضریب زبری با دو رویکرد عددی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت (۷). نتایجی که در طی این پژوهش به دست آمد، نشان داد که مقاومت در بسترهای متحرک و غیرچسبنده ابتدا به دو بخش مقاومت مربوط به اندازه ذرات و مقاومت مربوط به تغییر شکل در بستر تقسیم می‌شود. همچنین نشان داده شد که تغییرات زمانی فرم بستر و تراز بستر روند ثابتی ندارد، به نحوی که در ابتدای ورود جریان به بستر فرسایش چشمگیر بوده و با طی زمان از این فرسایش کاسته می‌شود (۷).

مواد و روش‌ها

۱- تحلیل ابعادی: برای استخراج پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر ضریب مقاومت جریان در پژوهش حاضر از آنالیز ابعادی استفاده گردید. عوامل مختلفی بر مقاومت بستر در بسترهای کلاستری مؤثر هستند. برخی از این عوامل متأثر از جریان و منشأ برخی دیگر مشخصات ذرات رسوب تشکیل‌دهنده کلاسترها و فواصل و آرایش کلاسترها هستند. از این عوامل می‌توان به V (سرعت متوسط جریان)، R (شعاع هیدرولیکی)، D_{50} قطر میانه ذرات، a طول کلاستر، b عرض کلاستر، λ فاصله طولی کلاسترها، s فاصله عرضی کلاسترها، v لزجت سینماتیک سیال، ρ چگالی سیال، Re^* عدد رینولدز برشی، w عرض کانال و g اشاره کرد. به‌طور کلی می‌توان عوامل مؤثر بر ضریب مقاومت جریان را در یک بستر شنی با ساختارهای ریزساختار کلاستری به این صورت بیان نمود:

$$f = \varphi(V, g, D_{50}, R, w, a, b, \lambda, s, v, \rho) \quad (1)$$

اگر سرعت متوسط (V) ، R و ρ را به‌عنوان متغیرهای تکراری انتخاب کنیم متغیرهای بی‌بعد به شکل رابطه ۲ به‌دست می‌آیند.

$$f = \Phi(Re^*, Fr, \frac{R}{D_{50}}, \frac{R}{w}, \frac{R}{a}, \frac{R}{b}, \frac{R}{\lambda}, \frac{R}{s}) \quad (2)$$

۲- محاسبه ضرایب زبری: برای به‌دست آوردن ضریب زبری در آبراه‌ها روش‌های گوناگونی توسط پژوهشگران پیشنهاد شده است، روش مانینگ، شزی و داریسی - ویسباخ از همین روش‌ها می‌باشند. در این مطالعه از دو روش داریسی - ویسباخ و مانینگ برای محاسبه ضریب زبری استفاده شد.

$$f = \frac{8gRS_f}{V^2} \quad (3)$$

که در آن، V سرعت متوسط، R شعاع هیدرولیکی، S_f شیب خط انرژی و g شتاب ثقل می‌باشد.

فرمول مانینگ به‌طور گسترده‌ای برای جریان یکنواخت و برای محاسبات پروفیل سطح آب در کانال‌های باز (جریان غیریکنواخت) استفاده می‌شود. به‌خاطر سادگی فرم آن و نتایج رضایت‌بخش برای کاربردهای علمی می‌توان آن را به‌صورت زیر تعریف کرد:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

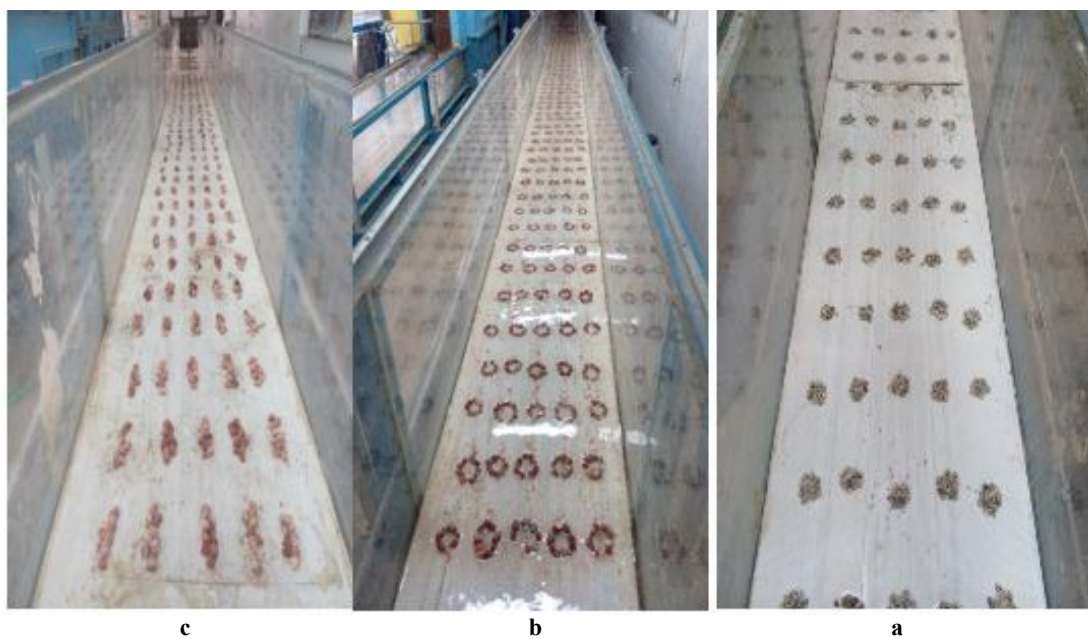
که در آن، n ضریب زبری و به‌صورت ویژه عدد مانینگ شناخته شده است.

۳- امکانات آزمایشگاهی: برای نیل به اهداف این پژوهش، از کانال آزمایشگاهی واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد استفاده گردید. طول کانال مورد استفاده (۲۰ متر)، عرض و ارتفاع آن (۶/۰ متر) بود. در شکل ۲ تصویری از فلوم نشان داده شده است. آب این کانال به‌وسیله پمپ سانتری‌فیوژ با حداکثر دبی ۷۵ لیتر بر ثانیه تامین می‌گردد. تنظیم دبی با استفاده از دبی‌سنج توریبی متصل بر ابتدای لوله انتقال‌دهنده آب به فلوم انجام پذیرفت. تنظیم شیب کانال با سه جک هیدرولیکی که برای این منظور در زیر فلوم تعبیه گردیده بودند انجام پذیرفت. در تمامی آزمایش‌های این پژوهش شیب کانال صفر در نظر گرفته شد. برای ساخت کلاسترها از سه دانه‌بندی متفاوت سنگریزه با قطرهای متوسط (۹/۵، ۱۲/۵ و ۱۵/۵) میلی‌متری استفاده گردید. همچنین شکل‌های کپه‌ای، خطی و حلقه‌ای در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند. در شکل ۳ شکل‌های کپه‌ای، حلقه‌ای و خطی کلاسترها نشان داده شده‌اند. شکل ۴ ابعاد کلاسترها را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که ارتفاع کلاسترها به اندازه ذرات رسوبی در نظر گرفته شده است. اندازه‌گیری تراز سطح آب به‌وسیله عمق‌سنج مدرج که بر روی پایه متحرک متصل شده بود محاسبه گردید، میزان دقت این عمق‌سنج ۰/۲ میلی‌متر بود.



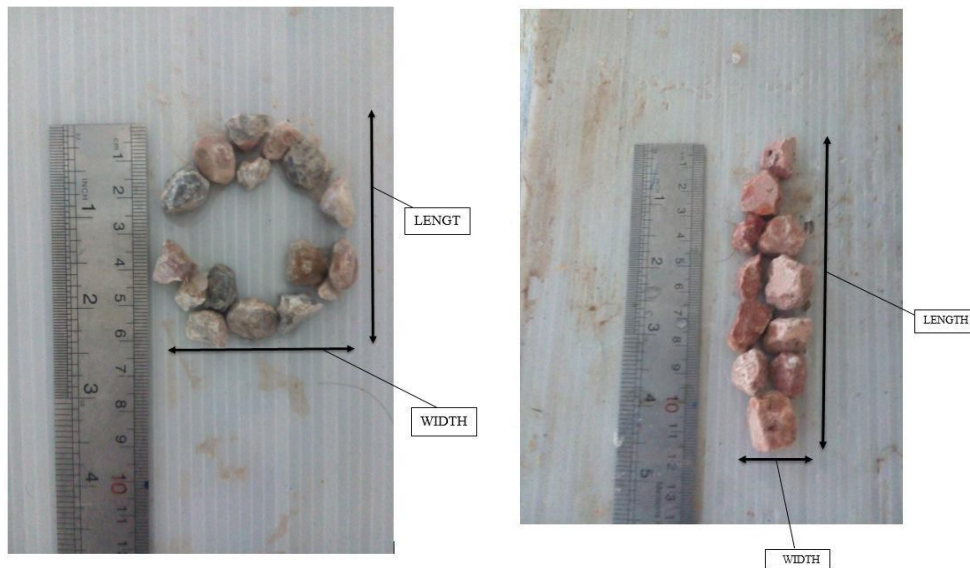
شکل ۲- کانال آزمایشگاهی مورد استفاده.

Figure 2. Experimental flume.



شکل ۳- شکل‌های مختلف کلاستر، شکل a کلاستر کپه‌ای، شکل b کلاستر حلقه‌ای و شکل c کلاستر خطی.

Figure 3. Different types of cluster a) Heap cluster b) Ring cluster c) Linear cluster.



شکل ۴- ابعاد کلاسترها.

Figure 4. Clusters dimension.

همچنین از رابطه مانینگ نیز برای محاسبه ضریب زبری بستر استفاده گردید بعد از برداشت داده‌های مربوطه، شیب سطح آب به‌دست آمد و با جایگذاری در فرمول دارسی- ویسباخ ضریب زبری محاسبه گردید.

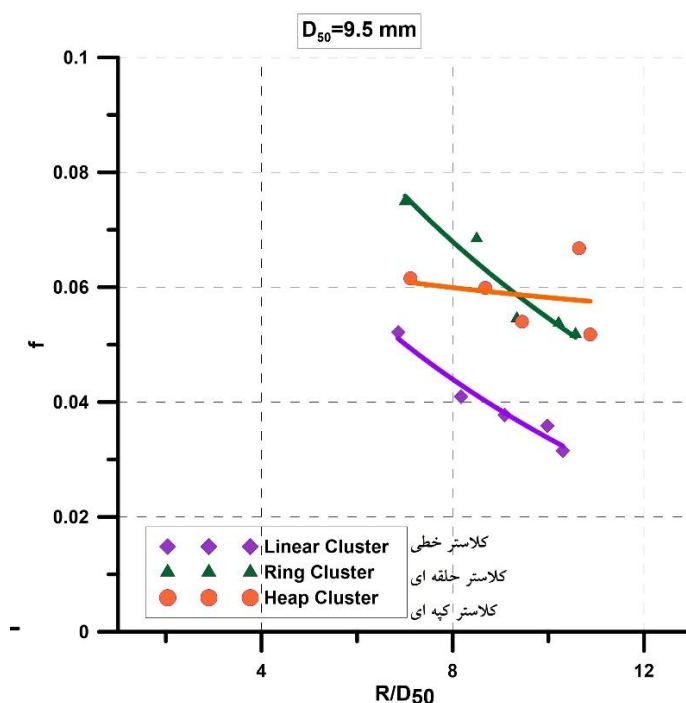
نتایج و بحث

۱- تأثیر فاکتور شکل کلاسترها بر ضریب زبری: برای مقایسه بین تأثیر شکل کلاسترها ابتدا نمودارهای در اندازه ذرات یکسان رسم گردید. نتایج در نمودارهای شکل‌های ۵ تا ۷ برای هر سه دانه‌بندی نشان داده شده‌اند. در شکل ۵ که نشان‌دهنده کلاسترهایی است که با ذرات سنگریزه ۹/۵ میلی‌متری ساخته شده‌اند، مشخص گردید که کلاستر خطی دارای کم‌ترین میزان ضریب زبری در بین سه شکل کلاستر مورد آزمایش است. اما در مورد کلاستر حلقه‌ای و کپه‌ای شکل، رفتار این دو نوع کلاستر و اثرات آنان بر ضریب زبری تقریباً یکسان و مشابه هم

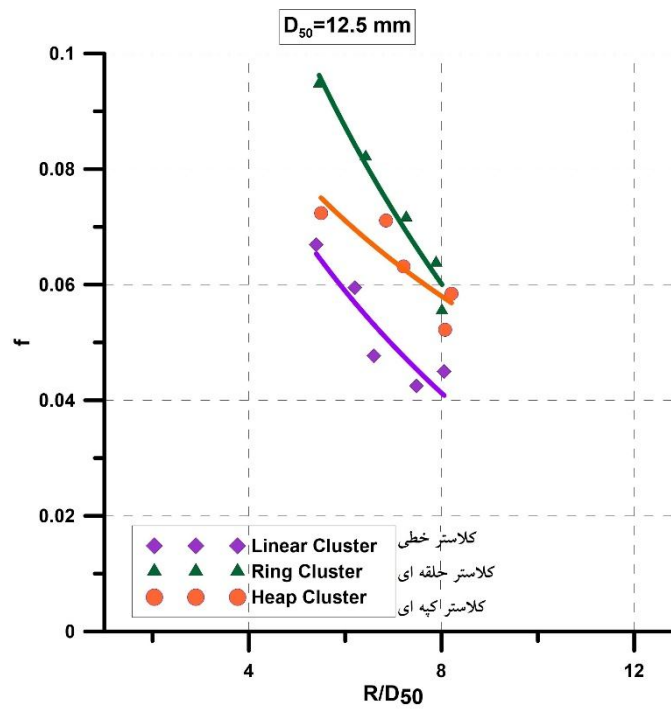
۴- نحوه اجرای آزمایش‌ها: برای شروع آزمایش‌های بررسی ضریب زبری ابتدا باید کلاسترها در سه شکل متفاوت حلقه‌ای، کپه‌ای و خطی بر روی سطح بستر نصب می‌شدند. برای جلوگیری از تأثیر تلاطم‌های ایجاد شده هنگام ورود آب به کانال آزمایشگاهی و بروز خطا در اندازه‌گیری‌ها، نقطه شروع آزمایش‌ها از ۷ متری کانال انتخاب گردید. کلاسترها در ۱۰ متر از طول کانال (از نقطه ۷ تا ۱۷ متری) کانال گسترانده شده بودند. آزمایش‌ها در پنج دبی متفاوت (۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۵۵ لیتر بر ثانیه) انجام شدند. برای تنظیم دبی از دبی‌سنج توربینی که روی لوله اصلی قرار گرفته است و شیر فلکه که برای این منظور تعبیه شده است استفاده می‌شد. بعد از گستراندن کلاسترها در طول مورد نظر فلوم و همچنین تنظیم و تثبیت دبی جریان، برداشت داده‌های مربوطه در فواصل ۲ متری از هم در طول فلوم (نقاط ۷ تا ۱۷ متری کانال) انجام پذیرفت. برای محاسبه ضریب اصطکاک در این مطالعه از فرمول دارسی- ویسباخ استفاده گردید.

نظر ابعاد در ارتفاع این دو شکل است. کلاسترهای خطی حتی با داشتن ارتفاعی برابر کلاسترهای حلقه‌ای و پهنای برابر هر دو شکل ذکر شده کم‌ترین ضریب زبری را در آزمایش‌ها از خود نشان داد. در رودخانه‌ها و جریان‌های طبیعی در صورت ایجاد شرایط تشکیل فرم‌های کلاستری در ابتدا و به وفور اشکال خطی به وجود می‌آیند، دو شکل دیگر مورد بررسی در این مقاله، در شرایط خاص (اندازه ذرات و شرایط هیدرولیکی جریان) تشکیل می‌شوند. نمودار شکل ۷ کلاسترهای با ذرات سازنده ۱۵/۵ میلی‌متری مورد مقایسه قرار گرفتند. کلاسترخطی دارای کم‌ترین میزان ضریب زبری بوده است، همچنین بیش‌ترین مقدار زبری مربوط به شکل کپه‌ای می‌باشد.

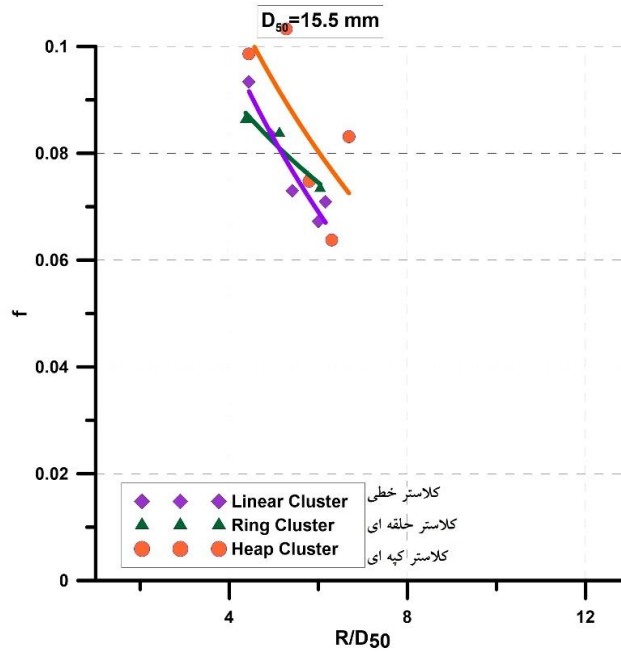
هست. در نمودار شکل ۶ که مربوط به کلاسترهای با ذرات سنگریزه با قطرهای ۱۲/۵ میلی‌متری هستند نیز همان‌طور که مشاهده می‌گردد، کلاسترهای خطی شکل دارای کم‌ترین ضریب زبری هستند، کلاسترهای کپه‌ای و حلقه‌ای هر چند میزان تقریباً نزدیک به همی از خود نشان دادند اما ضریب زبری برای کلاسترهای کپه‌ای به مقدار کمی از ضریب زبری برای شکل حلقه‌ای بیش‌تر بوده است. کلاسترهای کپه‌ای به دلیل شکل خاص خود باعث ایجاد جریان‌های ثانویه قوی‌تری در لایه‌های زیرسطحی جریان می‌شوند. برای تفاوت مشاهده شده در میزان ضریب زبری میان کلاسترهای کپه‌ای و حلقه‌ای می‌توان به حالت برجسته‌تر این کلاسترها نسبت به کلاسترهای حلقه‌ای اشاره کرد. از نظر عرض هر دو شکل کلاستر حلقه‌ای و کپه‌ای داری پهنای یکسانی هستند و تنها تفاوت از



شکل ۵- تأثیر شکل کلاسترها بر ضریب زبری برای ذرات ۹/۵ میلی‌متری.
Figure 5. Effect of cluster type on roughness for 9.5 mm particles.



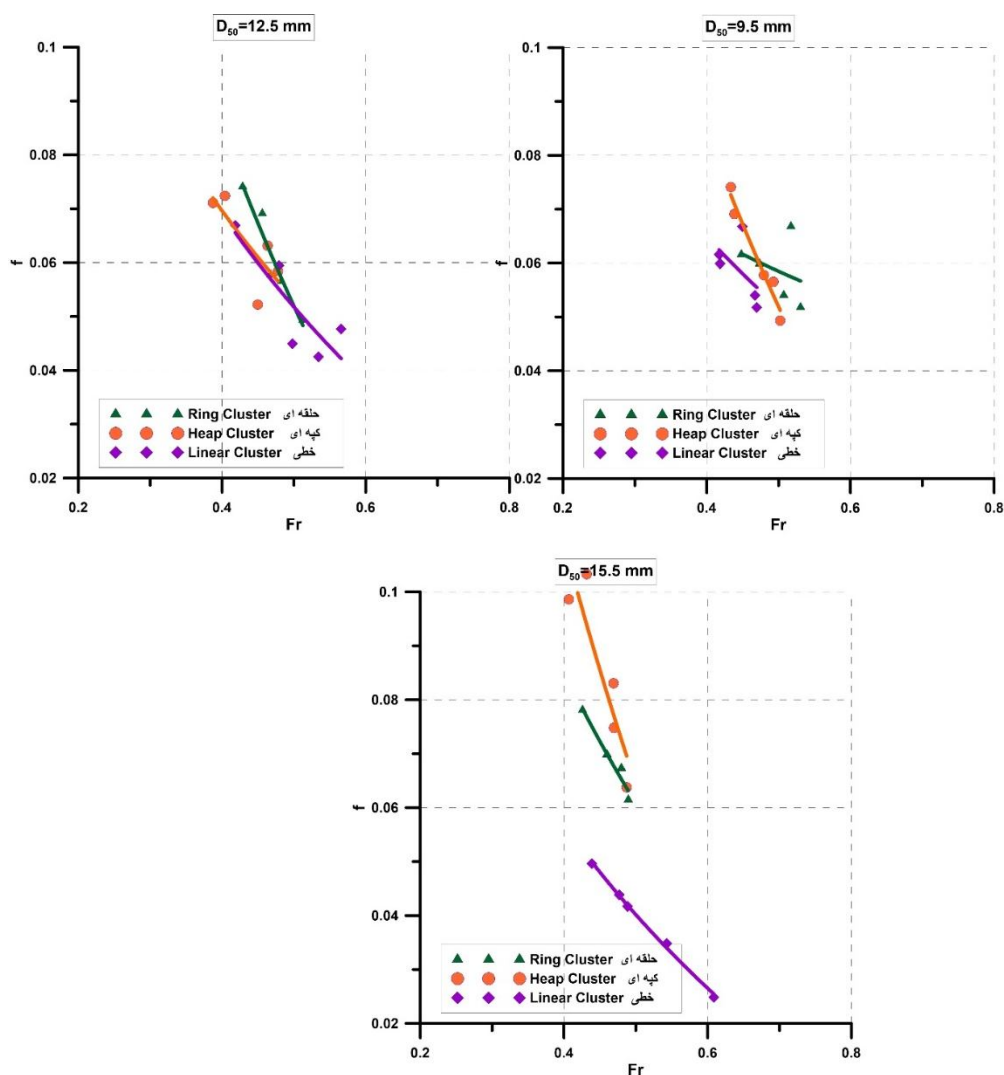
شکل ۶- تأثیر شکل کلاسترها بر ضریب زبری برای ذرات ۱۲/۵ میلی متری.
 Figure 6. Effect of cluster type on roughness for 12.5 mm particles.



شکل ۷- تأثیر شکل کلاسترها بر ضریب زبری برای ذرات ۱۵/۵ میلی متری.
 Figure 7. Effect of cluster type on roughness for 15.5 mm particles.

همچنین با کاهش اندازه سنگ‌ریزه، ناحیه جداشدگی جریان کاهش خواهد یافت که به تبع آن نیروی پسای فشاری و در نتیجه ضریب زبری کاهش خواهد یافت. در نمودارهای شکل ۷ مشاهده می‌گردد که مقدار ضریب زبری در کلاستر خطی کم‌تر از ضریب زبری در کلاسترهای حلقه‌ای و کپه‌ای است که با افزایش عدد فرود کاهش می‌یابد.

۲- تأثیر عدد فرود بر ضریب زبری: در این مطالعه تأثیر عدد فرود بر ضریب زبری داریسی-ویسباخ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در نمودارهای شکل ۸ به ارائه شده است. همان‌طور که از نمودارها مشاهده می‌شود افزایش عدد فرود باعث کاهش مقاومت جریان می‌گردد. دلیل این کاهش را می‌توان در کاهش عمق و در نتیجه زبری نسبی دانست.



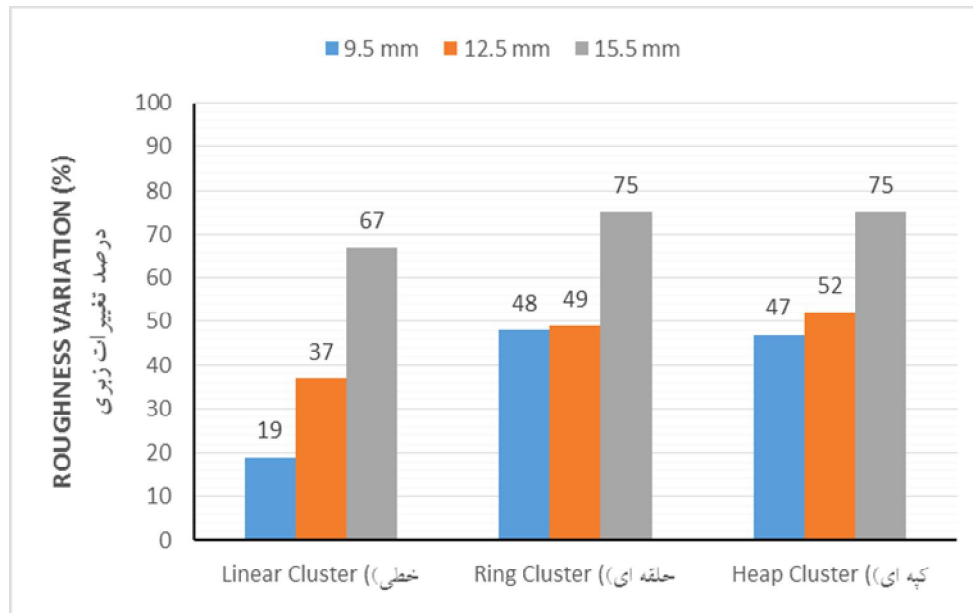
شکل ۸- نمودارهای تأثیر عدد فرود بر ضریب زبری.

Figure 8. Effect of Froude number on roughness coefficients.

زبری نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشاهده می‌شود ضریب زبری برای هر سه شکل کلاستر کپه‌ای، خطی و حلقه‌ای با افزایش قطر ذرات افزایش پیدا خواهد کرد. بر اساس نظر (بهرامی و شفافی‌بجستان، ۲۰۱۱)، وجود ذرات سنگریزه فارغ از شکل آنان باعث ایجاد نیروی پسای اصطکاکی و همچنین فشاری از طرف سیال بر بستر می‌شود که با بزرگ شدن اندازه ذرات سنگریزه مقدار این نیروها نیز افزایش خواهد یافت (۱). دلیل این امر این است که با بزرگ شدن اندازه ذرات، سطحی از سنگریزه‌ها که با سیال در تماس هستند و در مقابل جریان قرار می‌گیرد افزایش می‌یابد در نتیجه نیروهای فشاری و اصطکاکی نیز افزایش می‌یابد که باعث افت بیشتر و افزایش ضریب زبری می‌گردد.

۳- تأثیر اندازه ذرات سازنده کلاسترها بر ضریب زبری مانینگ: در بررسی انجام گرفته در مورد تأثیر اندازه ذرات سازنده کلاسترها بر ضریب زبری جریان نتایج به دست آمد. تاکنون مطالعات زیادی برای برآورد مقدار ضریب زبری و مقاومت جریان از طریق اندازه ذرات انجام گرفته است. در رودخانه‌های آبرفتی مقاومت جریان بیش‌تر تابع اندازه ذرات (مقاومت ذرات) و فرم بستر (مقاومت فرم) می‌باشد و در رودخانه‌های با بستر درشت‌دانه حاوی شن و قلوه‌سنگ مقاومت جریان بیش‌تر به اندازه ذرات وابسته است و مقاومت فرم در برابر آن بسیار ناچیز است.

شکل ۹ نمودارهای درصد تغییرات ضریب زبری در حالت وجود کلاستر بر روی بستر نسبت به حالت بدون کلاستر را برای دانه‌بندی‌های با قطر متوسط مختلف را به‌منظور نمایش اثر قطر ذرات بر ضریب

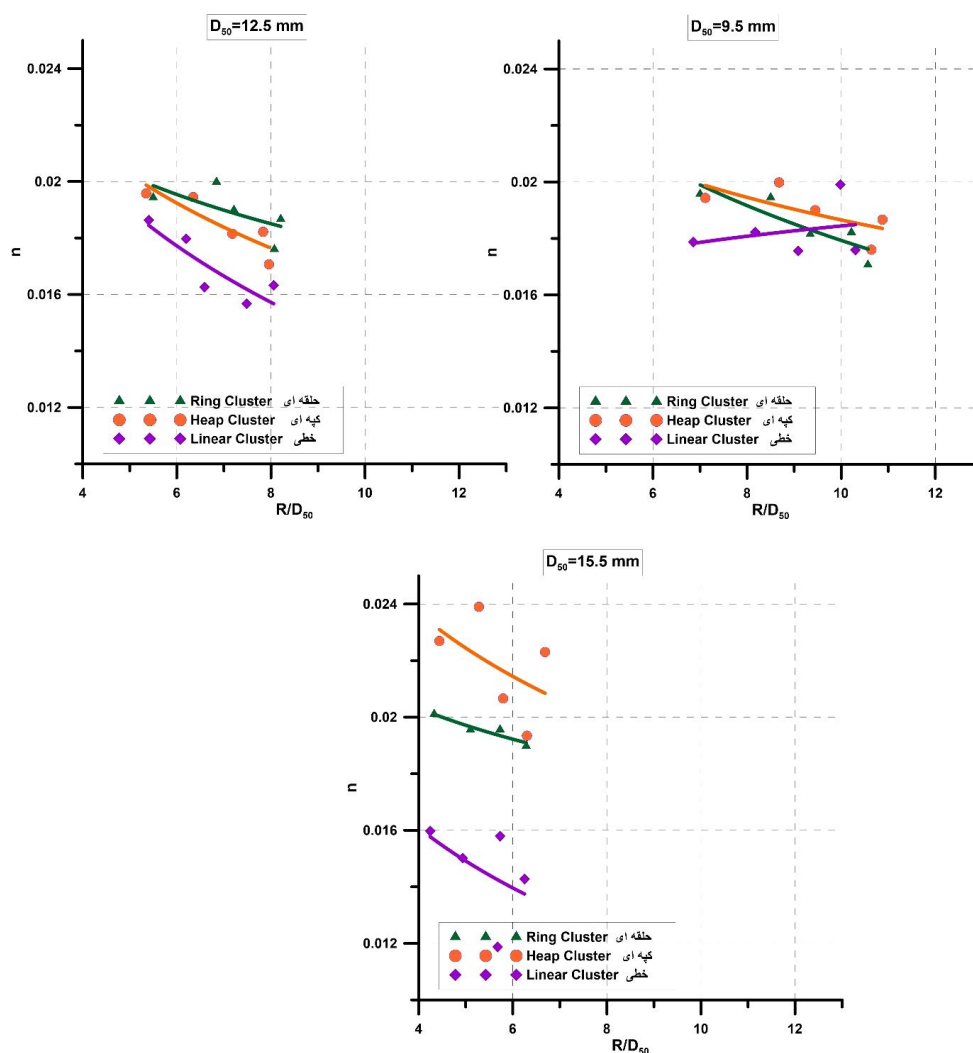


شکل ۹- نحوه تغییر میزان ضریب زبری نسبت به تغییر اندازه متوسط ذرات.

Figure 9. Variation of roughness coefficient related to particles median size.

ضریب زبری f مطابقت دارد. در قطرهای ۹/۵ و ۱۲/۵ میلی‌متر، کلاسترهای کپه‌ای و حلقوی دارای تأثیر تقریباً مشابهی بر ضریب زبری هستند. در حالی که در قطر ۱۵/۵ میلی‌متر کلاسترهای کپه‌ای موجب افزایش بیش‌تر ضریب زبری شده‌اند.

۴- بررسی تأثیر شکل کلاسترها بر ضریب زبری مانینگ: شکل ۱۰ تأثیر شکل کلاسترها بر ضریب زبری مانینگ را نشان می‌دهد. نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده این مطلب است که کلاستر خطی در هر سه قطر مورد بررسی کم‌ترین تأثیر را بر ضریب زبری مانینگ دارد. نتیجه فوق با نتایج به‌دست آمده در



شکل ۱۰- تأثیر شکل کلاسترها بر ضریب زبری مانینگ.

Figure 10. Effect of cluster type on manning roughness coefficient.

کلاسترهای حلقه‌ای و کپه‌ای ذرات ۱۵/۵ میلی‌متری به ترتیب (۰/۰۲۱۸ و ۰/۰۱۹۵) هستند. ضریب زبری در اشکال حلقه‌ای و کپه‌ای بسیار به هم نزدیک بوده و میزان اختلافشان اندک است.

در جدول ۱ ضریب زبری مانینگ برای کلاسترهای مختلف در نشان داده شده است. کم‌ترین میزان ضریب زبری در جدول زیر در کلاسترهای خطی و ذرات ۹/۵ میلی‌متری مشاهده می‌گردد این مقدار برابر (۰/۰۱۴۷) و بیش‌ترین ضریب، مربوط به

جدول ۱- ضریب زبری مانینگ در شکل‌های مختلف کلاستر.

Table 1. Manning roughness coefficient in different types of clusters.

15.5 mm	12.5 mm	9.5 mm	نوع کلاستر Cluster type
0.0175	0.0169	0.0147	خطی Linear
0.0195	0.0185	0.0184	حلقه‌ای Ring
0.0218	0.0189	0.0182	کپه‌ای Heap

به تبع آن افزایش ضریب زبری خواهد شد. می‌توان این‌گونه استنباط نمود که کلاسترهای خطی براساس شکل هندسی که دارند میزان کم‌تری از جریان‌های گردابی را ایجاد می‌کنند. همچنین کلاستر حلقه‌ای باعث ازدیاد جریان‌های گردابی خواهد شد. درصد تغییرات ضریب زبری مانینگ برای کلاسترهای خطی، حلقه‌ای و کپه‌ای که با ذرات ۹/۵ میلی‌متری ساخته شده‌اند به ترتیب ۱۹، ۴۸ و ۴۷ می‌باشد. مقدار تغییرات ضریب زبری برای ذرات ۱۲/۵ میلی‌متری و کلاسترهای خطی، حلقه‌ای و کپه‌ای به ترتیب ۳۷، ۴۹ و ۵۲ درصد می‌باشد. همچنین برای ذرات با قطر ۱۵/۵ میلی‌متری در سه شکل کلاستر مورد بررسی در این پژوهش برای کلاسترهای خطی، حلقه‌ای و کپه‌ای به ترتیب ۶۷ و ۷۵ درصد مشاهده شده است.

نتیجه‌گیری

هدف از مطالعه آزمایشگاهی حاضر بررسی تأثیر شکل فرم‌های بستر کلاستری و اندازه ذرات سازنده کلاسترها بر ضریب زبری داریسی - ویسباخ و مانینگ

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، کلاسترهای خطی در تمامی اندازه ذرات دارای کم‌ترین میزان ضریب زبری هستند. با افزایش قطر ذرات سنگ‌ریزه سازنده کلاسترها ضریب زبری افزایش می‌یابد. روند این افزایش به صورت خطی است. کلاسترهای شکل کپه‌ای و حلقه‌ای در قطرهای ۹/۵ و ۱۲/۵ میلی‌متر دارای تأثیر یکسانی بر ضریب زبری هستند، در حالی که در قطر ۱۵/۵ میلی‌متر کلاستر کپه‌ای دارای ضریب زبری بیش‌تری است.

علت این اختلاف در ضرایب زبری مشاهده شده در شکل‌های خطی با ضریب زبری در حالت‌های کپه‌ای و حلقه‌ای و همچنین نزدیکی ضرایب اشکال حلقه‌ای و کپه‌ای را می‌توان به نحوه تأثیر آن‌ها بر الگوی و جدایی جریان در پایین‌دست آن‌ها ارتباط داد. خطوط جریان با گذر از روی بستر کلاستری دچار آشفتگی خواهند شد، این آشفتگی با ایجاد نواحی پرفشار در ابتدای کلاسترها و نقاط کم‌فشار در انتهای آن‌ها این تفاوت فشار باعث جداشدگی در جریان، ایجاد جریان‌های گردابی و همچنین افت و

جریان قرار می‌گیرد بیان نمود. افزایش سطح تماس ذرات باعث ایجاد تلاطم در جریان خواهد شد. نتایج این پژوهش نتایج بهرامی و همکاران (۲۰۱۱) را تأیید می‌کند (۱). کلاستر خطی بیش‌ترین مقدار واکنش را نسبت به افزایش اندازه ذرات دارد به طوری که با افزایش اندازه ذرات از (۹/۵ به ۱۵/۵ میلی‌متر) میزان تغییرات ضریب زبری ۳/۵ برابر شده است که در مقایسه با ۱/۶ برابری برای کلاستر کپه‌ای و ۱/۵ برابری برای کلاستر حلقه‌ای مقدار قابل‌توجهی می‌باشد. در مورد ضریب زبری مانینگ نیز با افزایش میزان قطر ذرات سنگ‌ریزه ضریب زبری افزایش پیدا خواهد کرد. ضریب زبری مانینگ برای شکل خطی کلاسترها و ذرات ۹/۵ میلی‌متری کم‌ترین مقدار خود را دارا است. این مقدار برابر (۰/۰۱۴۷) و در حالت کلاستر حلقه‌ای و ذرات ۱۵/۵ میلی‌متری بیش‌ترین مقدار خود برابر (۰/۰۲۱۸) را دارد. همچنین مشخص شد که کلاسترهای حلقه‌ای و کپه‌ای دارای ضریب زبری مانینگ مشابه و نزدیک به یکدیگر هستند.

در رودخانه‌های با بستر درشت بوده است. برای این منظور سه دانه‌بندی متفاوت برای ساخت کلاسترها استفاده گردید، همچنین برای بررسی تأثیر شکل‌های مختلف از سه شکل متداول کلاسترها (خطی، حلقه‌ای و کپه‌ای) استفاده شد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش پارامتر بی‌بعد $\frac{R}{d_{50}}$ (این پارامتر معرف زبری معادل یا استغراق نسبی است) کاهش ضریب زبری مشاهده می‌گردد. در تمامی نمودارها کلاستر خطی کم‌ترین مقدار زبری بستر را دارا است. در مورد دانه‌بندی ۹/۵ میلی‌متری مقدار ضریب زبری دارسی-ویسباخ برای کلاستر کپه‌ای و حلقه‌ای مشابه بوده اما با افزایش قطر ذرات با وجود نزدیکی نمودارهای کپه‌ای و حلقه‌ای، به‌میزان اندک نمودار مربوط به کلاستر کپه‌ای بالاتر از کلاسترهای حلقه‌ای است و ضریب زبری را برای این کلاستر به مقدار اندکی بالاتر نشان می‌دهد. با افزایش اندازه ذرات ضریب زبری نیز افزایش پیدا خواهد کرد. دلیل این امر را می‌توان افزایش سطحی از ذرات که در مقابل

منابع

1. Bahrami Yarahmadi, M., and Shafai Bejestan, M. 2011. Experimental Study of the Effect of Sediment Particles Shape on Manning's Coefficient. *J. Water Soil*. 25: 1. 51-60. (In Persian)
2. Bathurst, J.C. 1985. Flow resistance estimation in Mountain Rivers. *J. Hydr. Engin.* 111: 4. 625-643.
3. Biggs, B.J., Duncan, M.J., Francoeur, S.N., and Meyer, W.D. 1997. Physical characterization of microform bed cluster refugia in 12 headwater streams, New Zealand. *New Zealand J. Mar. Freshwater Res.* 31: 4. 413-422.
4. Brayshaw, A.C., Frostick, L.E., and Reid, I. 1983. Hydrodynamics of particle clusters and sediment entrainment in coarse alluvial channels. *Sedimentology*. 30: 1. 137-143.
5. Buffington, J.M. 1995. Effects of hydraulic roughness and sediment supply on surface textures of Gravel-bed Rivers (Master's thesis, University of Washington).
6. Dal Cin, R. 1968. "Pebble clusters": Their origin and utilization in the study of paleo currents. *Sedimentary Geology*. 2: 4. 233-241.
7. Esmaili, K., Kashefipour, S.M., and Shafaie Bajestan, M. 2009. The Effect of Bed Form on Roughness Coefficient in Unsteady Flows Using a Combined Numerical and Laboratory Method. *J. Water Soil*. 23: 3. 136-144. (In Persian)
8. Heays, K.G., Friedrich, H., and Melville, B.W. 2014. Laboratory study of gravel-bed cluster formation and disintegration. *Water Resources Research*, 50: 2227-2241.

9. Hemmatti, M., and Vafa, M. 2016. Investigation on the effect of gravel particles shape on Manning's roughness coefficient in Mountain Rivers. Applied research in irrigation and drainage structures engineering. 17: 66. 15-30. (In Persian)
10. Karbasi, M., Omid, M.H., and Farhoudi, J. 2011. Experimental investigation of 3D flow over cluster microforms. Iran. J. Irrig. Water Engin. 2: 5. 75-85. (In Persian)
11. Karbasi, M., Omid, M.H., and Farhoudi, J. 2012. Prediction of cluster bed-forms formation over gravel-bed Rivers. Iran. Water Res. J. 6: 10. 1-9. (In Persian)
12. Laronne, J.B., and Carson, M.A. 1976. Interrelationships between bed morphology and bed-material transport for a small, gravel-bed channel. Sedimentology. 23: 1. 67-85.
13. Mianae, S.J., Keshavarzi, A., and Sistani, B. 2008. Modeling erosion and deposition of particles on ripples using image processing technic. 4th national conference of civil engineering (University of Tehran). (In Persian)
14. Millar, R.G. 1999. Grain and form resistance in gravel-bed Rivers. J. Hydr. Res. 37: 3. 303-312.
15. Papanicolaou, A.N., and Schuyler, A. 2003. Cluster evolution and flow-frictional characteristics under different sediment availabilities and specific gravity. J. Engin. Mechanic. 129: 10. 1206-1219.
16. Papanicolaou, A.N., Strom, K., Schuyler, A., and Talebbeydokhti, N. 2003. The role of sediment specific gravity and availability on cluster evolution. Earth Surface Processes and Landforms. 28: 1. 69-86.
17. Reid, I., and Hassan, M.A. 1992. The influence of microform bed roughness elements on flow and sediment transport in Gravel-Bed Rivers: a reply. Earth Surface Processes and Landforms. 17: 5. 535-538.
18. Strom, K.B., and Papanicolaou, A.N. 2008. Morphological characterization of cluster microforms. Sedimentology. 55: 1. 137-153.
19. Teisseyre, A.K. 2013. Pebble clusters as a directional structure in fluvial gravels: modern and ancient examples. Geologia Sudetes. 12: 2. 79-90.
20. Wittenberg, L., and Newson, M.D. 2005. Particle clusters in Gravel-bed Rivers: an experimental morphological approach to bed material transport and stability concepts. Earth Surface Processes and Landforms. 30: 11. 1351-1368.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(2), 2018

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.13919.2867

Experimental investigation of the effect of different cluster shapes on flow resistance coefficient

***M. Karbasi¹, M. Ghasemian² and M. Asadi³**

¹Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Zanjan, ²M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, University of Zanjan, ³Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Shahre Kord

Received: 09.04.2017; Accepted: 04.15.2018

Abstract

Background and Objectives: It is important to study the coefficient of resistance in streams, especially in open channels, canals and rivers. One of the factors influencing the flow resistance is bed-forms. Cluster microforms are types of bed-forms in mountainous rivers, which are important both in biological aspect and in hydraulic of micro-currents (the secondary currents). The study of the recognition and influence of clusters on flow resistance is novel around the world. The purpose of this study is to investigate the effect of cluster shape and particle size on the flow roughness coefficients.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of the shape and size of the particles that forming clusters, several experiments were carried out in a laboratory channel of 20 meters in length, 0.6 m in width and 0.6 m in height. Using gravel particles with three different sizes of 9.5, 12.5, 15.5 mm, three cluster types (linear, heap and rings) were constructed in laboratory flume. Two roughness coefficients namely Darcy-Wiesbach and Manning were calculated using the water surface slope measurements.

Results: The results of this study showed that the linear cluster had the least effect on the rate of flow resistance coefficient. The ring and heap clusters have a roughness coefficient greater than the linear cluster, but both have almost same impact on the flow resistance. The results of these two forms of the cluster are very close for particles of 9.5 and 12.5 mm, but for a particle of 15.5 mm, the roughness coefficient of the cluster is higher than that of the other shapes. The manning's roughness coefficient is also increases by increasing the diameter of the gravel particles of the cluster builder. By performing experiments with gravel particles of different diameters, the percentage of change in roughness coefficient relative to the non-cluster state for cluster clumps in particles of 9.5, 12.5 and 15.5 mm was 47, 52 and 75, respectively. For rings and particles of 9.5, 12.5 and 15.5 mm, the percentage changes were 48, 49 and 75 percent, respectively and the percentage for linear clusters for particles of 9.5 and 19 percent and particles 5 / 12 and 15.5 mm were observed at 37 and 67% respectively, indicating an increase in the flow resistance with an increase in the particle diameter. Also, the results also showed that increase in Froude number reduced the roughness coefficient.

Conclusion: The results of the experiments clearly showed that the cluster increases the resistance coefficient through affecting the current. The results of this study revealed that the heap cluster has the most effect on flow resistance.

Keywords: Roughness coefficient, Microform cluster, Linear cluster, Cobble cluster, Cluster ring

* Corresponding Author; Email: m.karbasi@znu.ac.ir