

## بررسی آزمایشگاهی اثر شکل ذرات رسوبی بستر بر ضریب زبری مانینگ

محمد بهرامی یاراحمدی<sup>۱\*</sup> - محمود شفاعی بچستان<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۸/۹/۱۸

تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۱۴

### چکیده

یکی از مهمترین و موثرترین مباحث در پروژه‌های عمرانی رودخانه‌ای تخمین مقاومت جریان می‌باشد. اغلب برای توصیف مقاومت جریان یا زبری نسبی یک آبراهه یا دشت سیلابی از ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) استفاده می‌شود. در مورد اثر شکل ذرات رسوبی بر ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) تاکنون مطالعاتی صورت نگرفته است. در این تحقیق با استفاده از سه نوع رسوب با شکل‌های مختلف (طبیعی نسبتاً گرد گوشه، شکسته تیز گوشه، تصنعی کاملاً کروی) که مجموعاً ۱۱ دانه‌بندی می‌باشند ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) جریان برای شرایط هیدرولیکی مختلف در فلومی به طول ۱۰ متر، عرض ۲۵ سانتیمتر و ارتفاع ۵۰ سانتیمتر با شیب کف ثابت ۰/۰۰۵ تعیین شد. نتایج نشان می‌دهند که با بزرگتر شدن اندازه رسوبات بستر مقادیر ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) رسوبات با اشکال مختلف به یکدیگر نزدیکتر می‌شوند به گونه‌ای که در رسوبات با اندازه‌های ۱۱ میلی‌متر اختلاف قابل توجهی بین ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات رسوبی وجود دارد ولی در رسوبات با اندازه‌های ۲۱ و ۲۷ میلی‌متر ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات طبیعی نسبتاً گرد گوشه و ذرات تصنعی کاملاً کروی اختلاف اندکی دارند بطوریکه درصد اختلاف ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) آنها بطور متوسط ۱/۶۵+ درصد می‌باشد و ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شکسته تیز گوشه در اندازه‌های ۲۱ و ۲۷ میلی‌متر کمترین اختلاف را با دیگر رسوبات دارد. متوسط درصد اختلاف ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شکسته تیز گوشه نسبت به ذرات طبیعی نسبتاً گرد گوشه ۶/۲- درصد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت جریان، زبری نسبی، ضریب زبری مانینگ، ذرات رسوبی

### مقدمه

در رودخانه‌ها استفاده می‌شود، تعیین یکی از سه ضریب مذکور ضروری است.

سه رابطه مذکور که ارتباط بین سرعت متوسط جریان ( $V$ ) و ضرائب مقاومتی، هندسی و هیدرولیکی آبراهه را بیان می‌کنند به صورت زیر می‌باشند:

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

$$V = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{RS_f} \quad (\text{دارسی - ویسباخ}) \quad (2)$$

$$V = C \sqrt{RS_f} \quad (\text{شزی}) \quad (3)$$

که در آنها  $n$ ,  $f$ ,  $C$  به ترتیب ضرائب مانینگ، دارسی - ویسباخ و شزی هستند.

$V$  = سرعت متوسط جریان  $[L/T]$ ،  $R$  = شعاع هیدرولیکی  $[L]$ ،  $S_f$  = شیب خط انرژی،  $g$  = شتاب ثقل  $[L/T^2]$ ،  $K_n$  = ضریبی است که در سیستم  $SI$  مقدار آن ۱ و در سیستم انگلیسی مقدار آن ۱/۴۸۶ می‌باشد.

برای محاسبه دبی، سرعت و عمق جریان در کانال‌های طبیعی و نیز برآورد سیل و رسوب ارزیابی مقاومت جریان مهم و ضروری است. برای تعیین مقاومت جریان در مجاری روباز از روابط مانینگ، شزی و دارسی - ویسباخ استفاده می‌شود که در این روابط پارامترهایی چون ضریب زبری مانینگ ( $n$ )، ضریب زبری شزی ( $C$ ) و ضریب زبری دارسی - ویسباخ ( $f$ ) وجود دارد. هر سه این ضرائب به نوعی ضریب مقاومت جریان هستند که در معادلات حاکم بر جریان در رودخانه‌ها کاربرد فراوانی دارند. در حقیقت تخمین درست این ضرائب می‌تواند به برآورد دقیقتر شرایط جریان کمک کند. در تمام مدل‌های رایانه‌ای که امروزه برای برآورد شرایط جریان نظیر عمق، سرعت، تنش برشی و ...

۱ و ۲ - دانشجوی دکتری و استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

\* - نویسنده مسئول: (Email: m\_Bahrami\_1085@Yahoo.com)

ضرائب مقاومت در معادله‌های ۱ تا ۳ به صورت زیر با هم ارتباط دارند:

$$\sqrt{\frac{f}{8}} = \frac{n}{R^{1/6}} \frac{\sqrt{g}}{K_n} = \frac{\sqrt{g}}{C} = \frac{\sqrt{gRS_f}}{V} \quad (۴)$$

بنابراین با دانستن یکی از ضرائب مقاومت جریان طبق رابطه فوق می‌توان دیگر ضرائب زبری را تعیین کرد (۱۵).

زبرگر و ترن (۱۹۸۵) به دلایل زیر معتقدند که، روابط ۱ تا ۳ برای رودخانه‌های موجود در دشت مناسب هستند و مناسب رودخانه‌های کوهستانی نیستند (۱۳):

- مواد بستر رودخانه‌های کوهستانی معمولاً خیلی درشت اند در حالیکه رودخانه‌های دشت بسترشان دارای شن و ماسه می‌باشد.
- شیب بستر رودخانه‌های کوهستانی اغلب خیلی بیشتر از شیب رودخانه‌های دشت است.
- زبری نسبی (نسبت اندازه مواد بستر  $(K_s)$  به عمق جریان  $(Y)$ ) در رودخانه‌های کوهستانی خیلی بزرگتر می‌باشد.

معادله مانینگ به علت سادگی و درجه دقت قابل قبول برگزیده‌ترین انتخاب مهندسان هیدرولیک می‌باشد. مشکل اصلی در استفاده از معادله مانینگ، درستی تعیین مقدار ضریب مقاومت یا  $n$  است (۲). اعتماد به نتایج محاسبات بر اساس رابطه مانینگ بستگی به صحت انتخاب  $n$  دارد. ضریب زبری  $n$  به عوامل زیادی بستگی دارد و در تعیین آن باید این عوامل را مدنظر قرار داد. علاوه بر این عوامل، انتخاب صحیح  $n$  بستگی به تجربه و قضاوت مهندس مسئول طرح دارد (۳).

به منظور انتخاب مقدار صحیح ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) باید عواملی را که بر مقدار آن تاثیر می‌گذارند، مشخص نمود. این عوامل عبارتند از: زبری سطح بستر و بدنه، پوشش گیاهی، نامنظم بودن سطح مقطع آبراهه، نامنظمی مسیر آبراهه، رسوب گذاری و آبستنگی، موانع، تراز سطح آب و دبی، بار معلق و بار بستر. بطور کلی همانطور که انتظار می‌رود، مقدار  $n$  با افزایش زبری بستر و بدنه، رشد پوشش گیاهی در آبراهه و نامنظمی سطح مقطع و مسیر آبراهه، افزایش می‌یابد (۱).

تاکنون مطالعات زیادی در مورد اثر عوامل مختلف بر ضریب زبری مانینگ صورت گرفته است. در مورد تاثیر اندازه‌های ذرات رسوبی بستر و بدنه آبراهه بر ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) مطالعات زیادی صورت گرفته است که می‌توان به استریکلر (۱۹۲۳)، میر پیتز مولر (۱۹۴۸)، کیولگان (۱۹۳۸)، هندرسن (۱۹۶۶)، اندرسون و همکاران (۱۹۷۰)، هاگر (۱۹۹۹) اشاره نمود. آنها ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) را فقط تابعی از اندازه متوسط ذرات بستر  $(K_s^{1/6})$  معرفی کردند (۱۴).

جارت (۹) با استفاده از داده‌های رودخانه کلرادو که در آن اندازه مواد بستر ( $D_{84}$ ) از ۰/۳ تا ۲/۶ فوت و شیب بستر از ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۳۹ و عدد فرود در محدوده ۰/۲۲ تا ۰/۹۷ می‌باشد برای تخمین ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) رابطه زیر را ارائه کرد:

$$n = 0.39 S_f^{0.38} R^{-0.16} \quad (۵)$$

که در آن  $S_f$  = شیب خط انرژی و  $R$  = شعاع هیدرولیکی بر حسب فوت می‌باشد.

افضلی مهر و انکتیل (۵) مقاومت جریان را در رودخانه‌های با بستر سنگریزه مورد مطالعه قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که معادلات موجود مقاومت جریان را دقیق تخمین نمی‌زنند زیرا مقاومت جریان علاوه بر استغراق نسبی  $(Y/K_s)$  تابع پارامترهای حرکت رسوب  $(\tau_s / \tau_c)$  و عدد فرود جریان  $(F_r)$  نیز می‌باشد.

در رابطه با اثر شیب بر ضریب زبری مانینگ در سال ۲۰۰۳ هسل و جتن و گوانقو<sup>۱</sup> آزمایشهایی جهت تخمین ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) در شیب‌های تند انجام دادند آنها مشاهده کردند که برای زمین‌های قابل فرسایش کشاورزی، یک افزایش خطی آشکار در  $n$  با افزایش شیب وجود دارد. ولی در زمین‌های جنگلی که فرسایشی ندارند، سرعت با شیب افزایش می‌یابد ولی  $n$  ثابت می‌ماند (۵).

در مورد اثر بار معلق بر ضریب زبری جریان تحقیقات زیادی صورت گرفته است که از جمله آنها می‌توان به تحقیقات ایتاکورا و کیشی (۸)، لین (۱۲)، خولار و همکاران (۱۰) اشاره نمود. طبق تحقیقات صورت گرفته اتفاق نظر قابل قبولی بین محققین در مورد اثر بار معلق بر مقاومت جریان وجود ندارد. بعضی از آنها معتقدند که حضور بار معلق باعث کاهش مقاومت جریان، بعضی‌ها معتقدند باعث افزایش مقاومت جریان و بعضی‌ها هم معتقدند بسته به شرایط جریان و غلظت بار معلق، افزایش یا کاهش فاکتور اصطکاکی هر دو ممکن می‌باشد.

در رابطه با اثر پوشش گیاهی بر ضریب زبری تحقیقات زیادی هم در خارج و هم داخل کشور صورت گرفته است که اکثر تحقیقات اخیر در زمینه زبری پوشش‌های گیاهی کلاً بر پایه تحقیقات فتحی مقدم (۶ و ۷) برای پوشش‌های گیاهی غیر مستغرق و تحقیقات کاوون (۱۱) طبق نظریه زبری نسبی نیکورادزه برای پوشش‌های گیاهی مستغرق استوار است.

تحقیقات زیادی به منظور ایجاد روابطی برای نشان دادن تاثیر شکل سطح مقطع بر ضریب زبری انجام گرفت اما نتایج آنها غیر قطعی بوده و هنوز روش کلی قابل قبولی در دست نیست. همانگونه که ذکر شد در رابطه با اثر عوامل مختلف بر ضریب

صفحات با طی یک مسافت تقریباً ۲/۸ متر به ابتدای سطح زیر قرار داده شده در بستر می‌رسید. طول بستر زیر در تمام آزمایشات ثابت و برابر ۶ متر بود. جریان پس از عبور از روی بستر زیر با طی مسافت ۱/۲ متر به انتهای فلوم می‌رسید. جنس دیواره فلوم از شیشه بود و در همه آزمایش‌ها فقط بستر فلوم زیر شد. در شکل ۱ نمای جانبی فلوم ۲۵ سانتی‌متری و تجهیزات آن و محل قرارگیری رسوبات بستر نشان داده شده است.

برای انجام آزمایش ابتدا شیب فلوم در حد مورد نظر تنظیم سپس مصالح زیر یکنواخت در بازه ۶ متری میانی فلوم قرار گرفته و تثبیت می‌شد به گونه‌ای که با عبور جریان ذرات حرکتی نداشته باشند. آنگاه با روشن کردن پمپ دبی ورودی به فلوم توسط شیر ورودی بمیزان دلخواه تنظیم می‌گردید. پس از اطمینان از برقراری دبی مورد نظر و ثابت بودن شرایط جریان پارامترهای مختلف جریان، اندازه‌گیری شد. رقوم سطح آب در طول فلوم بخصوص بر روی بستر زیر در سیزده نقطه توسط رقوم سنج با دقت یک دهم میلی‌متر و سرعت جریان در مقطع وسط (فاصله ۳ متری از ابتدای بستر زیر) و در اعماق مختلف توسط دستگاه میکرومولینه با دقت ۰/۰۱ سانتیمتر بر ثانیه اندازه‌گیری شد. در همه آزمایش‌ها از دبیهای ۷، ۱۶، ۲۵ و ۳۳ لیتر بر ثانیه استفاده گردید. در این مطالعه یازده نوع مصالح درشت دانه با دانه‌بندی یکنواخت ( $\sigma < 1/3$ ) بعنوان مصالح زیر استفاده گردید. مشخصات دانه‌بندی مصالح بستر در جدول ۱ آمده است. در شکل ۲ تصویری از دانه‌بندی‌های مصالح بستر نشان داده شده است.

### محاسبات

برای محاسبه ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) از رابطه مانینگ (رابطه ۱) استفاده می‌شود. مقدار شیب خط انرژی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S_f = S_0 + S_E \quad (9)$$

که در آن  $S_0$  شیب کف کانال می‌باشد و مقدار آن مشخص است. ( $S_0 = 0.0005$ ) مقدار  $S_E$  با توجه به رابطه‌ی زیر و مشخص بودن عمق و سرعت متوسط در مقاطع ۱ و ۳ به ازاء هر دبی معین، قابل محاسبه است.

$$S_E = \frac{(Y_1 + \frac{V_1^2}{2g}) - (Y_3 + \frac{V_3^2}{2g})}{\Delta X} \quad (10)$$

که در آن  $Y_1 =$  عمق جریان در مقطع ۱،  $Y_3 =$  عمق جریان در مقطع ۳،  $V_1 =$  سرعت متوسط جریان در مقطع ۱،  $V_3 =$  سرعت متوسط جریان در مقطع ۳ و  $\Delta X =$  فاصله‌ی مقطع ۱ تا مقطع ۳ می‌باشد که مقدار آن در این آزمایشها سه متر بود.

زبری تحقیقات زیادی صورت گرفته ولی در مورد اثر شکل ذرات رسوبی بر ضریب زبری مانینگ مطالعه‌ای صورت نگرفته است از این رو هدف اصلی این تحقیق انجام یکسری آزمایش در فلوم آزمایشگاهی با ذرات درشت دانه طبیعی و شکسته و تصنعی کاملاً کرووی و مقایسه آنها با یکدیگر می‌باشد.

### آنالیز ابعادی

برای رسیدن به اهداف این تحقیق باید پارامترهای بی‌بعد موثر بر ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) را تعیین کنیم. از این رو از آنالیز ابعادی استفاده می‌شود. متغیرهای موثر بر ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) در بستری زیر عبارتند از:

$$n = f(\rho, V, y, \mu, g, b, K_s, S_0, SF) \quad (6)$$

که در آن  $n$  ضریب زبری مانینگ،  $\rho$  جرم واحد حجم آب،  $V$  سرعت متوسط جریان،  $y$  عمق جریان،  $\mu$  ضریب لزجت دینامیکی آب،  $g$  شتاب ثقل زمین،  $b$  عرض کانال که در این تحقیق مقدار آن ثابت در نظر گرفته شد ( $b = 0.25 m$ )،  $K_s$  اندازه متوسط ذرات بستر،  $S_0$  شیب کف کانال و  $SF$  متغیر شکل ذرات رسوبی می‌باشد. با بکار بردن تئوری باکینگهام و انتخاب سه متغیر  $\rho$ ،  $V$ ،  $y$  بعنوان متغیرهای تکراری، می‌توان رابطه بی‌بعد زیر را استخراج نمود:

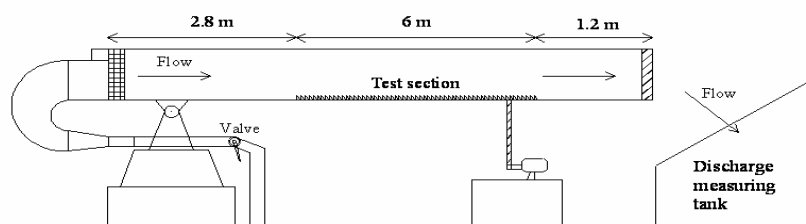
$$n = F(R_e, F_r, S_0, R/K_s, SF) \quad (7)$$

که در آن  $R_e$  عدد رینولدز،  $F_r$  عدد فرود جریان،  $S_0$  شیب کف کانال که در این تحقیق مقدار آن ثابت در نظر گرفته شد ( $S_0 = 0.0005$ )،  $R/K_s$  پارامتر استغراق نسبی و  $SF$  متغیر شکل ذرات رسوبی می‌باشد. در تمام آزمایش‌های این مطالعه جریان‌های متلاطم زبر بود و لذا از اثر لزجت و یا عدد رینولدز جریان ( $R_e$ ) می‌توان صرف‌نظر کرد. همچنین در جریان ماندگار و اعداد فرود کم ضریب زبری مستقل از عدد فرود جریان ( $F_r$ ) می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در این تحقیق، ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) تابع شکل ذرات رسوبی و پارامتر بی‌بعد استغراق نسبی  $R/K_s$  می‌باشد.

$$n = f(R/K_s, SF) \quad (8)$$

### مواد و روش‌ها

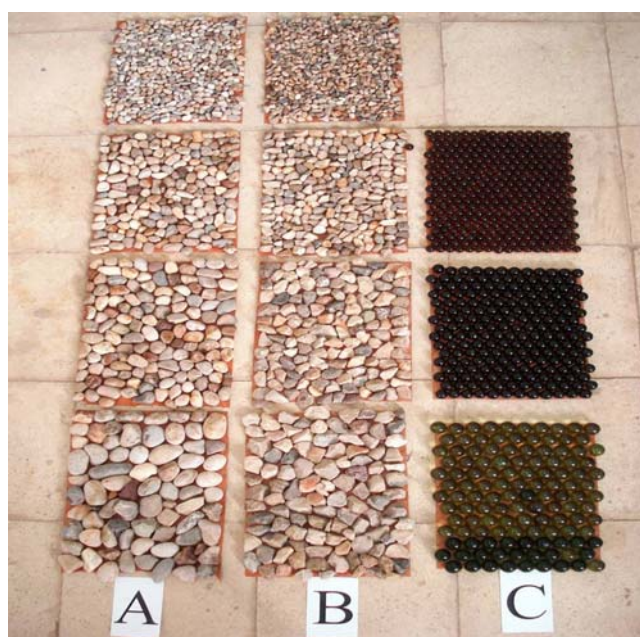
به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، آزمایشات متعددی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز و در فلومی به طول ۱۰ متر، عرض ۲۵ سانتیمتر، عمق ۵۰ سانتیمتر و شیب ۰/۰۰۰۵ انجام گردید. در ابتدای فلوم ۲۵ سانتی-متری سه صفحه مشبک جهت مستهلک کردن انرژی جنبشی آب و از بین بردن شتاب جریان، قرار داده شد، که جریان پس از عبور از این



شکل ۱- فلوم ۲۵ سانتیمتری و محل قرارگیری رسوبات بستر

جدول ۱- مشخصات دانه بندی مصالح آزمایش

کروی	شکسته	طبیعی	D <sub>50</sub> بر حسب میلیمتر
C <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	۲۷
C <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	۲۱
C <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	A <sub>3</sub>	۱۶
-	B <sub>4</sub>	A <sub>4</sub>	۱۱



شکل ۲- دانه بندی های مصالح بستر

$$\text{درصد اختلاف} = \left( \frac{\theta - \theta^*}{\theta} \right) * 100 \quad (11)$$

که در آن  $\theta$  ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه و  $\theta^*$  ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات رسوبی می باشد.

سرعت متوسط جریان در مقاطع ۱ و ۳ به ازاء هر دبی معلوم، از تقسیم دبی جریان بر سطح مقطع جریان محاسبه می شود. در جدول ۲ نتایج محاسبه پارامترهای هیدرولیکی جریان آورده شده است. به منظور تعیین درصد اختلاف ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات رسوبی، نسبت به ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه از رابطه زیر استفاده می شود.

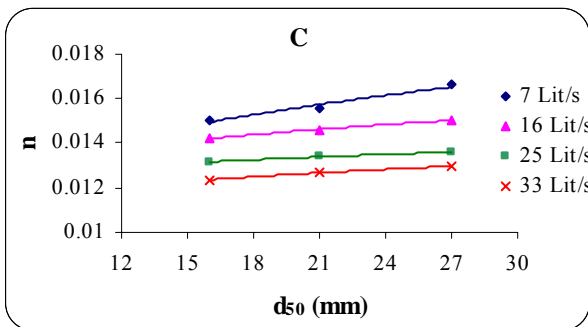
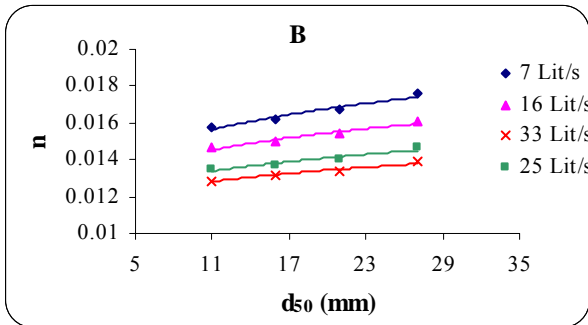
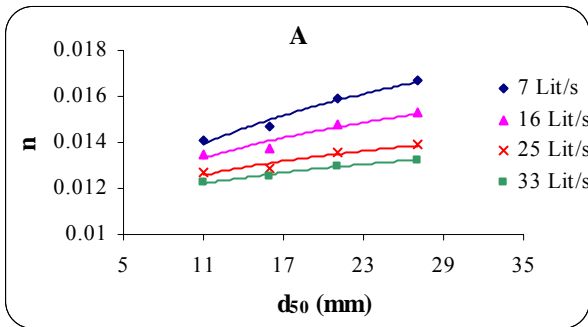
جدول ۲- نتایج محاسبه پارامترهای هیدرولیکی جریان

$n$	$S_f$	$S_E$	$V_3 (m/s)$	$Y_3 (m)$	$V_1 (m/s)$	$Y_1 (m)$	نوع رسوب	ردیف
0.014073	0.003294	0.002794	0.456533	0.061332	0.38464	0.072795	A1	1
0.013455	0.003957	0.003457	0.772117	0.082889	0.612168	0.104546	A1	2
0.012686	0.004364	0.003864	0.908456	0.110077	0.733689	0.136298	A1	3
0.012225	0.00451	0.00401	0.943038	0.139973	0.802331	0.164521	A1	4
0.014686	0.003666	0.003166	0.464587	0.060269	0.381799	0.073337	A2	5
0.013769	0.003882	0.003382	0.744537	0.08596	0.605739	0.105656	A2	6
0.012866	0.004245	0.003745	0.870192	0.114917	0.724769	0.137975	A2	7
0.012552	0.004693	0.004193	0.928914	0.142101	0.791827	0.166703	A2	8
0.015923	0.004036	0.003536	0.462583	0.06053	0.373695	0.074927	A3	9
0.0148	0.004432	0.003932	0.7759	0.082485	0.600425	0.106591	A3	10
0.013605	0.004787	0.004287	0.911418	0.109719	0.723301	0.138255	A3	11
0.012986	0.005069	0.004569	0.953668	0.138413	0.793266	0.166401	A3	12
0.016698	0.004132	0.003632	0.495021	0.056563	0.387238	0.072307	A4	13
0.015279	0.004692	0.004192	0.856281	0.074742	0.61193	0.104587	A4	14
0.013892	0.004968	0.004468	0.993626	0.100641	0.730634	0.136868	A4	15
0.013245	0.004974	0.004474	0.958567	0.137706	0.797289	0.165561	A4	16
0.01576	0.004072	0.003572	0.47084	0.059468	0.377204	0.07423	B1	17
0.014626	0.004374	0.003874	0.780019	0.082049	0.602891	0.106155	B1	18
0.013444	0.004623	0.004123	1.095292	0.0913	0.724218	0.13808	B1	19
0.012863	0.004799	0.004299	0.937229	0.140841	0.792995	0.166458	B1	20
0.016204	0.004052	0.003552	0.457639	0.061184	0.370838	0.075505	B2	21
0.014985	0.004452	0.003952	0.757769	0.084458	0.595212	0.107525	B2	22
0.013743	0.004794	0.004294	0.887081	0.112729	0.716615	0.139545	B2	23
0.013149	0.005048	0.004548	0.933394	0.141419	0.78568	0.168007	B2	24
0.016718	0.004129	0.003629	0.463171	0.060453	0.3723	0.075208	B3	25
0.015413	0.004482	0.003982	0.766465	0.0835	0.596832	0.107233	B3	26
0.014067	0.004757	0.004257	0.888996	0.112486	0.718094	0.139258	B3	27
0.013385	0.004937	0.004437	0.930622	0.141841	0.787008	0.167724	B3	28
0.017564	0.004313	0.003813	0.436136	0.0642	0.3548	0.078918	B4	29
0.016096	0.00489	0.00439	1.003445	0.06378	0.574152	0.111469	B4	30
0.014621	0.00523	0.00473	0.85134	0.117462	0.694348	0.14402	B4	31
0.01388	0.005333	0.004833	0.897323	0.147104	0.763207	0.172954	B4	32
0.015022	0.003627	0.003127	0.455131	0.061521	0.377347	0.074202	C1	33
0.014216	0.004248	0.003748	0.773757	0.082713	0.604723	0.105834	C1	34
0.013146	0.004516	0.004016	1.093308	0.091466	0.727458	0.137465	C1	35
0.012340	0.004458	0.003958	0.928607	0.142148	0.797189	0.165582	C1	36
0.015583	0.003782	0.003282	0.45583	0.061426	0.374815	0.074704	C2	37
0.014597	0.004182	0.003682	0.756964	0.084548	0.601861	0.106337	C2	38
0.013442	0.004478	0.003978	0.887788	0.112639	0.724795	0.13797	C2	39
0.012722	0.004654	0.004154	0.933479	0.141406	0.794757	0.166088	C2	40
0.016612	0.003936	0.003436	0.447145	0.06262	0.367249	0.076243	C3	41
0.015050	0.004355	0.003855	0.747077	0.085667	0.594415	0.107669	C3	42
0.013576	0.004615	0.004115	0.880298	0.113598	0.718933	0.139095	C3	43
0.012947	0.004713	0.004213	0.926513	0.14247	0.79028	0.167029	C3	44

## نتایج و بحث

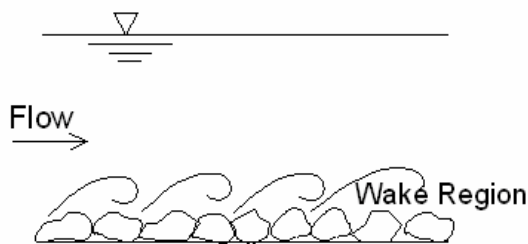
ذرات بستر ( $d_{50}$ ) برای ذرات طبیعی نسبتاً گرد گوشه ( $A$ )، شکسته تیز گوشه ( $B$ ) و ذرات تصنعی کاملاً کروی ( $C$ ) ترسیم شده است. با توجه به این شکل‌ها ملاحظه می‌شود که، به ازاء یک دبی ثابت با بزرگ شدن اندازه ذرات مقدار ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) نیز افزایش می‌یابد. همچنین به ازاء یک اندازه ثابت با افزایش دبی جریان مقدار ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) کاهش می‌یابد. با دقت در شکل ۳ می‌توان دریافت که با افزایش دبی جریان روند تغییرات ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) کاهش می‌یابد به گونه‌ای که دبی  $7.43 \text{ Lit/s}$  بیشترین روند تغییرات و در دبی  $33 \text{ Lit/s}$

عوامل متغیر اندازه‌گیری شده شامل: عمق جریان آب در ۱۳ مقطع و پروفیل سرعت در یک مقطع است. از طرفی با ۱ متغیر شیب، ۴ متغیر دبی و ۱۱ متغیر اندازه رسوبات بستر، جمعاً ۴۴ آزمایش انجام شد. با توجه به محاسبات انجام شده، جریان در تمامی آزمایشها زیر بحرانی و متلاطم زبر می‌باشد. در شکل ۳ تغییرات ضریب زبری مانینگ در مقابل اندازه متوسط



شکل ۳- تغییرات ضریب زبری مانینگ در مقابل  $d_{50}$

A- ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه B- ذرات شکسته تیز گوشه C- ذرات تصنعی کاملاً کروی



شکل ۴- تصویر شماتیک جریان بر سطح ذرات

یعنی نقاط جدایی<sup>۵</sup> در ذرات شکسته تیز گوشه نسبت به ذرات دیگر

5- Separation Point

کمترین روند تغییرات را نشان می‌دهد.

در طول یک بستر زبر در جهت جریان، هم نیروی درگ اصطکاکی<sup>۱</sup> و هم نیروی درگ فشاری<sup>۲</sup> از سیال بر بستر اثر می‌کنند. با شرایط هیدرولیکی یکسان، هرچه قدر اندازه زبری‌های بستر بزرگتر باشند به دلیل اینکه سطحی از ذرات که در برابر جریان قرار می‌گیرد بزرگتر می‌شود پس نیروی درگ فشاری بیشتر می‌شود از طرفی هم نیروی درگ اصطکاکی با بزرگتر شدن اندازه ذرات بستر بزرگتر می‌شود در نتیجه نیروی درگ کل وارده از سیال بر بستر بزرگتر می‌شود، پس افت جریان بیشتر می‌شود. به همین دلیل است که با شرایط هیدرولیکی یکسان با بزرگتر شدن اندازه ذرات بستر ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) افزایش می‌یابد. طبق محاسبات صورت گرفته با افزایش دبی، عمق و سرعت جریان افزایش می‌یابد. هر چه سرعت بیشتر شود (پروفیل سرعت ضخیم‌تر می‌شود) نقاط جدایی<sup>۳</sup> روی سطح ذره دیرتر اتفاق می‌افتند پس منطقه جداشدگی<sup>۴</sup> تشکیل شده کوچکتر شده و در نتیجه نیروی درگ فشاری کاهش می‌یابد از طرفی با افزایش سرعت و عدد رینولدز نیروی درگ اصطکاکی هم کاهش می‌یابد. در نتیجه با افزایش دبی و عمق جریان نیروی درگ کل و در نتیجه ضریب زبری مانینگ کاهش می‌یابد.

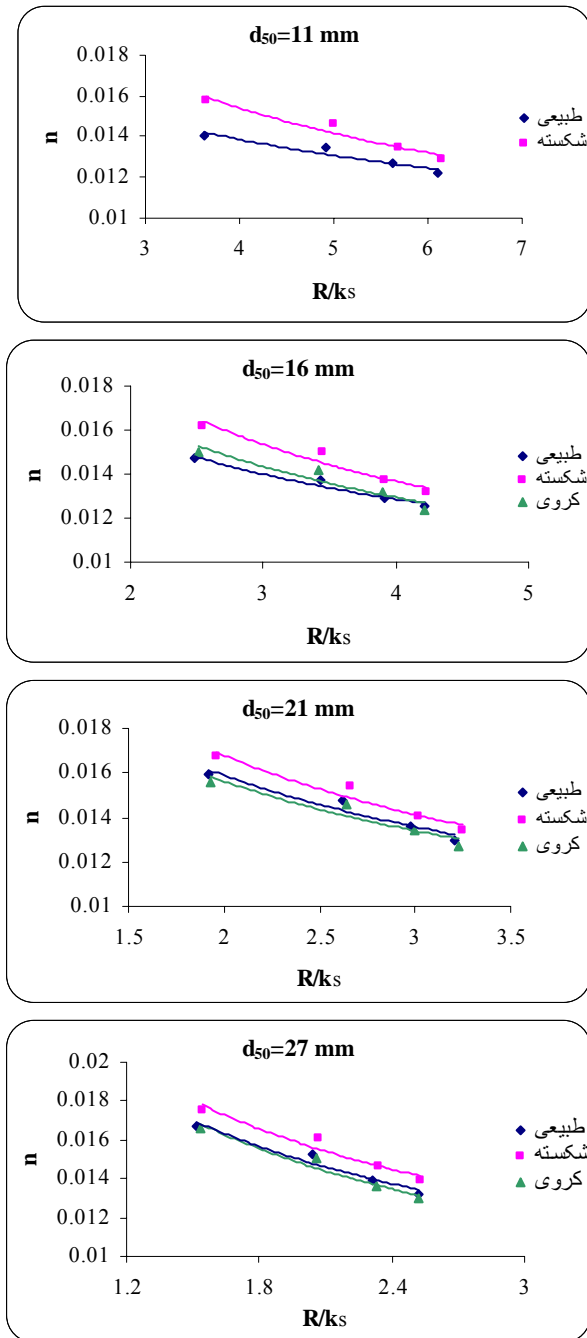
نتایج بر روی شکل ۳ نشان می‌دهد که ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) تنها به اندازه ذرات بستگی ندارد و عواملی نظیر دبی جریان، عمق جریان، شعاع هیدرولیکی جریان، شکل ذرات و غیره می‌توانند موثر باشند که در تحقیق حاضر اثر شکل این ذرات بر ضریب زبری مانینگ بررسی شد.

در شکل ۴ تصویر شماتیک جریان بر سطح ذرات نشان داده شده است.

به منظور بررسی اثر شکل ذرات رسوبی بستر بر ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) نمودارهای  $n$  در مقابل  $R/K_s$  به ازاء دبی‌های مختلف برای رسوبات بستر با اندازه‌های یکسان در شکل ۵ نشان داده شده است.

همانگونه که نمودارها نشان می‌دهند، برای اندازه‌های یکسان، ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شن شکسته تیز گوشه بیشترین مقدار را دارند. با شرایط یکسان هیدرولیکی خطوط جریان از سطح ذرات شکسته تیز گوشه نسبت به ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه و ذرات تصنعی کاملاً کروی، زودتر جدا می‌شوند

- 1- Skin Friction Drag
- 2- Pressure Drag
- 3- Separation Point
- 4- Wake



شکل ۵- نمودارهای  $n$  در مقابل  $R/K_s$  به ازاء دبی های مختلف برای رسوبات با اندازه های یکسان

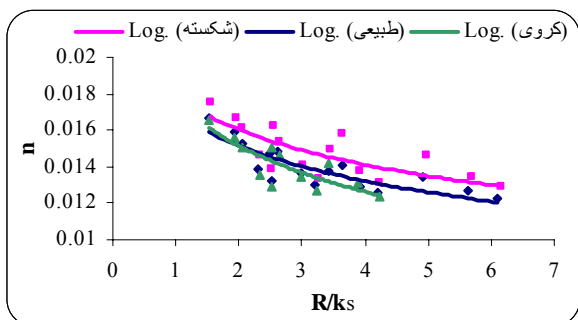
به منظور مقایسه کمی اثر شکل ذرات رسوبی، درصد اختلاف ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات رسوبی نسبت به ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه در جدول ۳ نشان داده شده است.

جلوتر اتفاق می افتد پس منطقه جداشدگی<sup>۱</sup> ایجاد شده پشت هر ذره شکسته تیز گوشه بزرگتر از ذرات دیگر می باشد در نتیجه اختلاف فشار بین جلو و عقب ذره شکسته تیز گوشه بیش از ذرات دیگر است که باعث می شود تا نیروی درگ فشاری ذرات شکسته تیز گوشه از ذرات دیگر بیشتر باشد. در نتیجه نیروی درگ کل، برای بستر پوشیده از ذرات شکسته تیز گوشه بیش از ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه و ذرات تصنعی کاملاً کروی می باشد و یا به عبارتی افت اصطکاکی ذرات شکسته تیز گوشه از ذرات دیگر بیشتر است. نتایج همچنین نشان می دهد که برای ذرات با اندازه های ۲۱ و ۲۷ میلی متر مقدار ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شن طبیعی نسبتاً گرد گوشه اندکی بیش از ذرات تصنعی کاملاً کروی می باشد. در اندازه ۱۶ میلی متر مقدار ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شن طبیعی نسبتاً گرد گوشه اندکی کمتر از ذرات تصنعی کاملاً کروی می باشد چون در اندازه ۱۶ میلی متر رسوبات طبیعی نسبت به ذرات کاملاً کروی کشیده تر و پهن تر هستند و سطح عمود بر جریان این ذرات، نسبت به ذرات کاملاً کروی کمتر است که باعث می شود تا نیروی درگ فشاری ایجاد شده در اثر این نوع شکل ذرات نسبت به ذرات تصنعی کاملاً کروی کمتر و در نتیجه افت اصطکاکی کمتری ایجاد کنند. با بزرگتر شدن اندازه رسوبات، کشیدگی ذرات شن طبیعی نسبتاً گردگوشه کمتر و کروییت آنها بیشتر می شود و سطح عمود بر جریان این ذرات در برابر جریان، به ذرات تصنعی کاملاً کروی نزدیکتر می شود و به این خاطر است که، در اندازه های ۲۱ و ۲۷ میلی متر ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات طبیعی نسبتاً گرد گوشه و ذرات تصنعی کاملاً کروی اختلاف اندکی دارند.

با ملاحظه نمودارها می توان استنباط کرد که با بزرگتر شدن اندازه رسوبات بستر، مقدار ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شن شکسته تیز گوشه به ذرات طبیعی نسبتاً گرد گوشه نزدیکتر می شود. زیرا با بزرگتر شدن ذرات شکسته تیز گوشه، تعداد زوایای شکسته و تیزی آنها کمتر و کوچکتر می شود پس منطقه جداشدگی پشت ذرات شکسته تیز گوشه با بزرگتر شدن آنها کوچکتر می شود در نتیجه مقدار افت ناشی از ذرات شکسته تیز گوشه با بزرگتر شدن آنها به ذرات طبیعی نسبتاً گرد گوشه نزدیک می شود. و یا به عبارتی با بزرگتر شدن اندازه رسوبات بستر مقادیر ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) رسوبات با اشکال مختلف به یکدیگر نزدیکتر می شود و اثر شکل ذرات رسوبی بر روی ضریب زبری مانینگ در اندازه های کوچکتر، نمایان تر و قابل توجه تر است.

جدول ۳- درصد اختلاف ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات رسوبی

نسبت به ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه			
شکل اندازه	طبیعی	شکسته	کروی
۱۱	۰	-۸/۰۰	-
۱۶	۰	-۷/۷	-۱/۵
۲۱	۰	-۳/۹	۱/۷
۲۷	۰	-۵/۱۵	۱/۶
میانگین	۰	-۶/۲	-



شکل ۶- مقادیر  $n$  در مقابل  $R/K_s$  برای همه ذرات رسوبی

### نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده برای ذرات با اندازه‌های یکسان، مقدار ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شن شکسته تیز گوشه از ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه و ذرات تصنعی کاملاً کروی بیشتر است. نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهند که با بزرگتر شدن اندازه رسوبات بستر، مقدار ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شن شکسته تیز گوشه به ذرات طبیعی نسبتاً گرد گوشه نزدیکتر می‌شود یعنی درصد اختلاف ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شکسته تیز گوشه نسبت به ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه یک روند کاهشی دارد. متوسط درصد اختلاف ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شکسته تیز گوشه نسبت به ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه  $-۶/۲$  درصد می‌باشد.

با توجه به شکل ۵ در رسوبات با اندازه ۱۶ میلیمتر مقدار ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شن طبیعی نسبتاً گرد گوشه اندکی کمتر از ذرات تصنعی کاملاً کروی می‌باشد به گونه‌ای که درصد اختلاف ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات تصنعی کاملاً کروی نسبت به ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه،  $-۱/۵$  درصد می‌باشد ولی در اندازه‌های ۲۱ و ۲۷ میلیمتر مقدار ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شن طبیعی نسبتاً گرد گوشه اندکی بیش از ذرات تصنعی کاملاً کروی می‌باشد بطوریکه درصد اختلاف ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات تصنعی کاملاً کروی نسبت به ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه در اندازه‌های ۲۱ و ۲۷ میلیمتر بطور متوسط  $+۱/۶۵$  درصد می‌باشد.

بطور کلی می‌توان گفت که با بزرگتر شدن اندازه رسوبات بستر مقادیر ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) رسوبات با اشکال مختلف به یکدیگر نزدیکتر می‌شوند و اثر شکل ذرات رسوبی بر روی ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) در اندازه‌های کوچکتر، نمایان‌تر و قابل توجه‌تر است به گونه‌ای که در رسوبات با اندازه‌های ۱۱ میلیمتر اختلاف قابل توجهی بین ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شکسته تیز گوشه و ذرات طبیعی نسبتاً گرد گوشه وجود دارد ولی در رسوبات با اندازه‌های ۲۱ و ۲۷ میلیمتر ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات طبیعی

با توجه به جدول ۳ ملاحظه می‌کنید که با بزرگتر شدن اندازه ذرات، درصد اختلاف ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شکسته تیز گوشه و تصنعی کاملاً کروی، نسبت به ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه یک روند کاهشی دارند و متوسط درصد اختلاف ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شکسته تیز گوشه نسبت به ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه  $-۶/۲$  درصد می‌باشد که علامت منفی نشان دهنده اینست که ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شکسته تیز گوشه بیش از ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه می‌باشد. درصد اختلاف ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات تصنعی کاملاً کروی نسبت به ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه در اندازه ۱۶ میلیمتر،  $-۱/۵$  درصد می‌باشد که علامت منفی نشان دهنده اینست که ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات تصنعی کاملاً کروی در اندازه ۱۶ میلیمتر بیش از ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه می‌باشد و درصد اختلاف ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات تصنعی کاملاً کروی نسبت به ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه در اندازه‌های ۲۱ و ۲۷ میلیمتر بطور متوسط  $+۱/۶۵$  درصد می‌باشد که علامت مثبت نشان دهنده اینست که ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات تصنعی کاملاً کروی در اندازه‌های ۲۱ و ۲۷ میلیمتر کمتر از ذرات طبیعی نسبتاً گردگوشه می‌باشد.

در شکل ۶ همه ذرات رسوبی مورد استفاده در آزمایشات، نشان داده شده است. شکل ۶ نشان می‌دهد که با افزایش استعراق نسبی ( $R/K_s$ ) مقدار ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) کاهش می‌یابد ضمناً ملاحظه می‌کنید که ذرات شکسته تیز گوشه بیشترین مقدار ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) و ذرات تصنعی کاملاً کروی کمترین مقدار ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) را دارند. هر چقدر  $R/K_s$  کمتر می‌شود مقادیر ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات طبیعی نسبتاً گرد گوشه و ذرات تصنعی کاملاً کروی به هم نزدیک می‌شود و برای  $R/K_s \geq 2.5$  مقدار ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات طبیعی نسبتاً گرد گوشه بیش از ذرات تصنعی کاملاً کروی است.



### سپاسگزاری

هزینه مالی این تحقیق از محل پژوهانه نویسنده دوم تامین شده است که بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می‌شود.

نسبتاً گرد گوشه و ذرات تصنعی کاملاً گروی اختلاف اندکی دارند و ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) ذرات شکسته تیز گوشه کمترین اختلاف را با ذرات مذکور دارد.

### منابع

- ۱- شفاعی بجستان م. (مترجم) ۱۳۸۷. جریان در کانالهای باز. اهواز. انتشارات دانشگاه شهید چمران. چاپ دوم. ۴۶۰ ص.
- ۲- حسینی م.، و ابریشمی ج. ۱۳۸۴. هیدرولیک کانالهای باز. مشهد. انتشارات آستان قدس رضوی. چاپ دوازدهم. ۶۱۳ ص.
- ۳- محمودیان شوشتری م. ۱۳۸۵. اصول جریان در مجاری باز. اهواز. انتشارات دانشگاه شهید چمران. جلد اول. چاپ اول. ۴۸۶ ص.
- ۴- همایون ر. ۱۳۸۷. مطالعه اثر عمق جریان بر ضریب زبری مانینگ در بسترهای با زبری متفاوت. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- 5- Afzalimehr H., and Anctil F. 1998. Estimation of Gravel-Bed River Flow Resistance. Journal of Hydraulic Engineering, Vol 124, No 10.
- 6- Fathi Moghadam M. 1996. Momentum Absorption in Non-rigid Non-submerged, tall Vegetation along Rivers. Ph.D. Thesis, university of Waterloo, Canada.
- 7- Fathi Moghadam M., and Kouwen N. 1997. Nonrigid, nonsubmerged, vegetative roughness on floodplains. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 123(1), PP:51-57.
- 8- Itakura T., and Kishi T. 1980. Open Channel flow with suspended sediments. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 106(8), PP: 1325-1343.
- 9- Jarret R. D. 1984. Hydraulics of High Gradient Streams. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol 110, PP: 1519- 1539.
- 10- Khullar N. K., Kothiyari U. C., and Ranga Raju K. G. 2002. The effect of suspended sediment on flow resistance. 5<sup>th</sup> International conference on hydro-science and engineering, September, 18-21, Warsa, Poland.
- 11- Kouwen N. 1992. Modern Approach to Design of Grassed channels. Journal of Irrigation and Drainage Eng, ASCE, 118(5), PP: 733-743.
- 12- Lyn D. A. 1991. Resistance in Flat- Bed Sediment- Laden Flows. Journal of Hydraulic Engineering, Vol 117(1), January: 94-114.
- 13- Rice C. E., Kadavy K. C., and Robinson K. M. 1998. Roughness of Loose Rock Riprap on Steep Slopes. Journal of Hydraulic Engineering, Vol 124, No 2, PP: 179-185.
- 14- Shafai Bajestan M., and Bahrami Yarahmadi M. 2009. Manning's roughness of channels covered with different gravel shapes. International Agricultural Engineering Conference (IAEC-184,185), Bangkok, Thailand.
- 15- Yen B. C. 2002. Open Channel Flow Resistance. Journal of Hydraulic Engineering, Vol 128, No 1, PP: 20-39.

## Experimental Study of the Effect of Sediment Particles Shape on Manning's Coefficient

M. Bahrami Yarahmadi<sup>1\*</sup> - M. Shafai Bejestan<sup>2</sup>

Received: 9-12-2009

Accepted: 5-12-2010

### Abstract

In all river engineering projects, determination of flow resistance is essential. Most commonly, the Manning roughness coefficient,  $n$ , is used to describe the flow resistance or relative roughness of main channel or flood plane. Over the past decades little or no study has been conducted to investigate the effects of particle shapes on Manning roughness coefficient. Therefore, it is the purpose of this study to see how and by what extend, the particle shape can affect the Manning's coefficient. To do so three different sediment shapes (angle rounded particles and crushed particles and spherical artificial particles); each in 11 different sizes were collected and tested under different flow conditions. Tests conducted in a flume of 10 meter long, 25 cm wide, 50 cm height and constant bed slope of 0.0005. The results show that the effect of particle shape in larger particle size is less compare to the smaller particle size. As in sediments with size of 11 mm, values of Manning roughness coefficient ( $n$ ) for sediment particles shows great difference and in 21mm and 27 mm sediment particles, the Manning roughness coefficient ( $n$ ) in angle rounded and spherical artificial particles are equal nearly as the average difference between Manning's coefficient ( $n$ ) of these particles are found to be in the order of +1.65 percent and values of Manning roughness coefficient ( $n$ ) for crushed particles in 21mm and 27 mm sediment particles shows little difference with other sediment particles. The average difference between Manning's coefficient ( $n$ ) of crushed particles with natural rounded particles are found to be in the order of -6.2 percent.

**Keywords:** Flow resistance, Relative roughness, Manning roughness coefficient, Sediment particles.

---

1,2- PhD Student and Professor, Department of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz  
(\*- Corresponding Author Email: m\_Bahrami\_1085@Yahoo.com)