

## ارزیابی روش‌های محاسبه منحنی دبی اشل در رودخانه‌های با فرم بستر ریپل

پری ملکی<sup>1\*</sup> - محمدجواد کتابداری<sup>2</sup> - حسین صمدی بروجنی<sup>3</sup> - داریوش ملکی<sup>4</sup>

تاریخ دریافت: 1392/03/23

تاریخ پذیرش: 1394/03/17

### چکیده

منحنی دبی-اشل در انجام مطالعات هیدرولیکی رودخانه‌ها حائز اهمیت ویژه است. در رودخانه‌هایی که بستر ماسه‌ای دارند، فرم بستر تشکیل شده و این امر در منحنی دبی-اشل اثر تعیین کننده‌ای دارد. در این تحقیق اثر دو نوع ریپل روی منحنی دبی-اشل در فلولم آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهر کرد انجام شد. محاسبات مربوطه به روشهای مختلف نظیر اینشتین-بارباروسا، شن و وایت و همکاران انجام شد تا دقت این روشها مورد ارزیابی قرار گیرد. در این مطالعه از دو نوع فرم بستر ریپل موازی و پولکی استفاده شد. نتایج حاصل از محاسبه پارامترهای آماری نظیر ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و متوسط درصد خطا در هر یک از روشها نشان داد که روش شن با کمترین میزان RMSE و درصد خطا همراه است. بنابراین این روش منحنی دبی-اشل را با دقت بیشتری نسبت به سایر روشها برآورد می‌کند. ضمناً در حالتی که شکل بستر به صورت ریپل موازی و پولکی است، ضریب همبستگی به ترتیب حدوداً 0/87 و 0/43 بدست آمد. این موارد نشان می‌دهد روش شن در حالت شکل بستر موازی، دارای دقت بیشتری نسبت به حالت پولکی است.

واژه‌های کلیدی: رودخانه‌های آبرفتی، ریپل پولکی، ریپل موازی، شکل بستر

### مقدمه

بستر هموار، موج‌های ایستاده، پاد تلماسه و شوت و استخر بر روی بستر شکل می‌گیرند. با افزایش سرعت جریان، شکل پلان ریپل‌ها از خطوط موازی به منحنی و سپس به الگویی مانند پولک‌های ماهی، بصورت متقارن یا نامتقارن گسترش می‌یابد. شکل 1 الگوی شکل-گیری ریپل‌ها را نشان می‌دهد (3). ریپل‌ها دارای طول موجی کمتر از 30 سانتیمتر و ارتفاعی تقریباً کمتر از 3 سانتیمتر هستند. آن‌ها در سرعت‌های بسیار کمتر از سرعت متوسط جریان به سمت پایین دست مهاجرت می‌کنند و به صورت چشمگیری با افزایش در انتقال رسوب، ارتفاع، طول موج و سرعت مهاجرت آن‌ها افزایش می‌یابد (2).

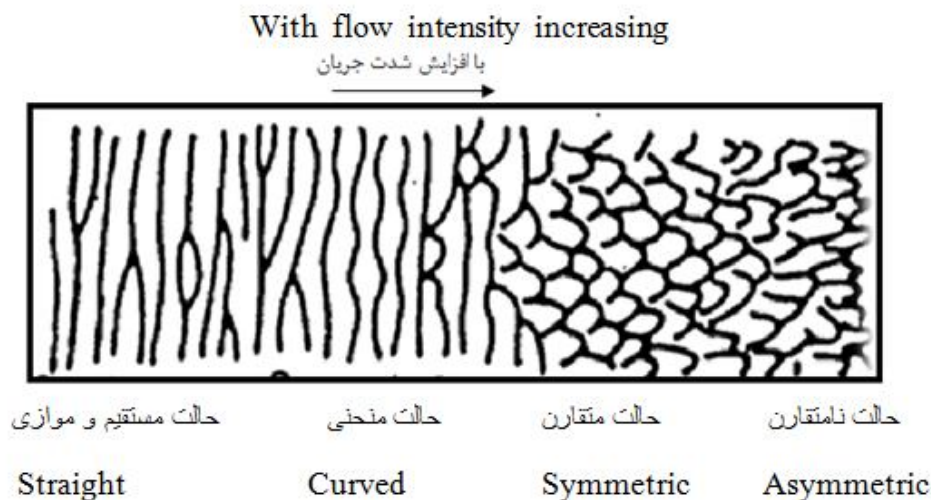
نقش داده‌های حاصل از اندازه‌گیری دبی رودخانه‌ها در برنامه-ریزی منابع آب و کنترل سیلاب مهندسی رودخانه بسیار با اهمیت است. به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، اجرای پروژه‌های آبخیزداری، پیش‌بینی سیل، طراحی مهندسی، عملیات ذخیره آبرسانی، کشتیرانی، تفریح و مدیریت زیست محیطی آگاهی از اطلاعات دبی جریان ضروری است.

در بسیاری از موارد اندازه‌گیری مستقیم دبی هزینه بر و وقت‌گیر بوده و در سیلاب‌های بزرگ اندازه‌گیری مستقیم دبی مشکل و غیرممکن است. بنابراین بیشتر داده‌های دبی از تبدیل ارتفاع آب اندازه‌گیری شده به دبی به وسیله منحنی دبی اشل بدست می‌آید (8).

شکل بستر در رودخانه در اثر جریان آب به وجود می‌آید و تأثیر مستقیمی روی زبری بستر و در نتیجه مقاومت در مقابل جریان دارد. از آنجا که محاسبات دبی - اشل رودخانه و سرعت جریان کاملاً به تعیین زبری شکل بستر بستگی دارد، شناخت شکل بستر از اهمیت زیادی برخوردار است. این خصوصیات یعنی تغییرات زبری در اثر جریان آب تأثیر مهمی در رابطه دبی - اشل بخصوص به هنگام عبور سیل دارد. رابطه دبی - اشل یک نوع معادله مقاومت در مقابل جریان است که برای تعیین عمق یا شعاع هیدرولیکی در صورتیکه دبی، شکل کانال، شیب، خصوصیات مواد بستر و درجه حرارت مشخص باشد به کار می‌رود (12). اثر متقابل بین جریان آب و بستر فرسایش‌پذیر که همراه با پدیده انتقال رسوب است، باعث ایجاد انواع شکل‌های بستر می‌شود. ابتدا در یک تنش برشی مشخص شکل بستر ریپل یا پشته کوچک بر روی بستر تشکیل می‌شود و سپس با افزایش تنش برشی و سرعت به ترتیب فرم بسترهای تلماسه، پاد تلماسه‌های شسته شونده،

1 و 3- دانش آموخته کارشناسی‌ارشد و دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهرکرد  
(\* - نویسنده مسئول: Email: parimaleki.6771@gmail.com)

2 و 4- دانشیار و دانش آموخته کارشناسی‌ارشد دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر



شکل 1- الگوی توسعه شکل ریبل (9)  
Figure1 - The pattern development of the ripple(9)

اندازه‌گیری شده به کار می‌رود (5).

کلبی (1960) در مطالعه‌ی رودخانه می‌سی‌سی‌پی در ایستگاه پایگون روست کریک مشاهده کرد که رابطه دبی اشل بین رژیم جریان پایینی و رژیم جریان بالایی پیوسته نیست (9). همچنین نوردین (1964) در مطالعه رودخانه ریوگراند این عدم پیوستگی را مشاهده و نتیجه گرفت که این ناپیوستگی مربوط به تغییر شکل بستر است. علت تغییر فرم بستر نیز تغییر زبری رودخانه است (9).

اشمیت و گارسیا، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده و مقایسه آن با روش‌های تجربی دبی-اشل، روش‌هایی را برای تعدیل منحنی‌های دبی-اشل و اصلاح آنها به منظور سازگاری بیشتر با مقادیر اندازه‌گیری ارائه کردند (6). آنها اظهار داشتند که علت اختلاف زیاد مقادیر پیش‌بینی توسط منحنی‌های دبی-اشل با مقادیر واقعی در برخی موارد، اعمال فرضیات ساده‌کننده‌ای است که در هیدرودینامیک جریان در نظر گرفته شده است (6). لذا با تغییر و تعدیل فرض‌های اصلی از نظر هیدرودینامیک، روش‌های تصحیح و تعدیل منحنی دبی-اشل در حالت جریان غیر یکنواخت و غیر ماندگار را مورد بحث قرار دادند و شرایطی که این فرض‌ها باعث ایجاد خطا می‌شوند را تجزیه و تحلیل نمودند. چاباک و مک‌گین (4) روابط دبی-اشل جریان خروجی از دریاچه کلیر در کانادا را مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج آنها نشان داد که شکل منحنی دبی-اشل رابطه معنی‌داری با هندسه جریان و پارامترهای هیدرولیکی جریان در این دریاچه دارد. باناچاریا و سولوماتین (1) به بررسی ارتباط بین دبی و تراز آب با استفاده از داده‌های 9 ایستگاه هیدرومتری رودخانه باگیری در هند با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج نشان داد بهترین

ترسیم قسمت انتهایی منحنی تجربی که معرف کمیت دبی‌های سیلابی است، اغلب با استفاده از روش‌های تئوریک و یا نیمه تجربی انجام می‌گیرد. بدیهی است منحنی دبی اشل فقط برای مقطع خاصی از جریان که در آن اندازه‌گیری صورت گرفته، صادق است. گر چه می‌توان برای مقاطع دیگر مشابه با آن مقطع نیز از این منحنی استفاده کرد (7). تعیین رابطه دبی اشل در رودخانه‌های آبرفتی با در نظر گرفتن مقاومت شکل بستر علاوه بر مقاومت ذرات بستر، توسط افراد متعددی مورد مطالعه قرار گرفته است و روابط مختلفی تاکنون پیشنهاد شده است. معروفترین این روش‌ها عبارتند از اینشتین-بارباروسا، شن، وایت و همکاران، انگلوند، براونلی و روش فان راین که در قسمت‌های بعدی تشریح می‌گردند (9).

گسلر و همکاران (5) در مطالعات خود دریافتند که در جریان‌های با بستر ماسه‌ای متحرک ممکن است دو عمق جریان اتفاق بیفتد که این خاصیت معرف حالتی است که دبی با سرعت بیشتری نسبت به شکل بستر قابل تغییر است. در این حالت یک نوع تأخیر در تغییر شکل بستر که همواره باید با دبی جدید مطابقت نماید ایجاد می‌شود. این پدیده باعث ایجاد ناپیوستگی در منحنی دبی-اشل خواهد شد که مقدار آن تابعی از زمان تغییر دبی بوده و مقدار ثابتی ندارد. این محققین پس از جمع‌آوری داده‌ها از آنها جهت پیش‌بینی فاکتور اصطکاک شکل بستر در فلوم‌های باریک و کانال‌های پهن با بستر ماسه‌ای که با اصلاحات مناسب برای زبری کناره به کار می‌روند، استفاده کردند که این فاکتور در روش اینشتین برای جدا کردن زبری زبری جداره از زبری بستر برای پیش‌بینی عمق جریان در هر دبی

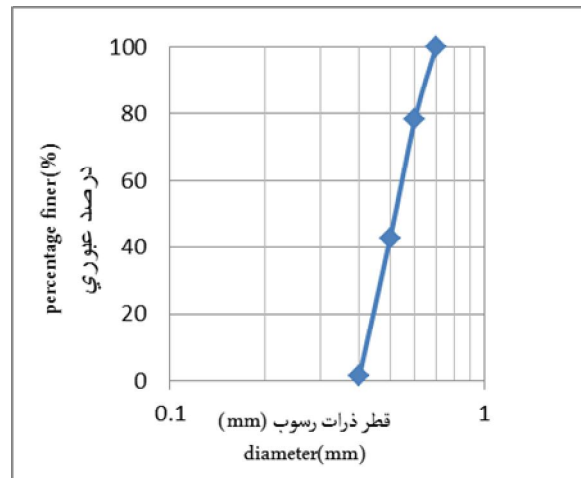
### مواد و روش‌ها

به منظور دستیابی به هدف این مطالعه که انتخاب بهترین روش برای تعیین رابطه دبی-اشل در رودخانه‌های با فرم بستر ریپل است، یک مطالعه آزمایشگاهی برنامه ریزی شد. آزمایش‌ها در فلومی با طول 12 متر و عرض 40 سانتیمتر، واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد انجام گرفت، فلوم دارای کف فلزی بود. این فلوم شیب‌پذیر بوده و امکان تغییر شیب کف به کمک جک‌های هیدرولیکی فراهم می‌گردد. در این فلوم آب از یک منبع واقع در بیرون آزمایشگاه به کمک یک پمپ سانتریفیوژ و از طریق لوله‌ی ورودی فلوم به مخزن ابتدایی وارد می‌شد. در ابتدای مخزن فلوم یک سرریز مثلی قرار داشت که امکان اندازه‌گیری دبی را فراهم می‌نمود. جریان پس از طی طول فلوم و عبور از روی سرریز متحرک انتهای فلوم و ریزش به حوضچه رسوبگیر، به صورت ثقلی به مخزن اصلی باز می‌گشت.

### رسوب مورد استفاده

با توجه به مطالعات سایمونز و ریچاردسون (1966) قطر متوسط ذرات ریپل باید کمتر از 0/7 میلی‌متر باشد (9). بنابراین در این تحقیق از رسوبات با قطر متوسط 0/52 میلی‌متر استفاده شد. پس از رسم منحنی دانه‌بندی مقدار ضریب دانه بندی  $C_D=1/58$  و مقدار ضریب انحناء  $C_u=1/05$  بدست آمد. در شکل 2 نمودار دانه‌بندی رسوبات مورد استفاده در این تحقیق نشان داده شده است.

مدل تهیه شده در حالت بدون شکل بستر، مدل توانی با ضریب تعیین 0/988 است. اعتبار سنجی مدل نشان داد که مدل تهیه شده دارای درصد خطای نسبی کمی است. چنانچه مقدار قابل توجهی از داده‌های اندازه‌گیری دبی-اشل در دسترس باشند با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی می‌توان رابطه بین دبی و رقوم سطح آب برقرار نمود. جین و چالیسکونکار به بررسی رابطه دبی-اشل در هند با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. در این تحقیق از سه لایه اطلاعاتی در مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد و منحنی دبی-اشل مدلسازی و تهیه گردید. نتایج نشان داد که رابطه دبی-اشل توانی تهیه شده با این روش دارای ضریب همبستگی بالایی است (11). به طور کلی مشکلات اندازه‌گیری در رودخانه‌ها بخصوص در شرایط غیرعادی و وقوع سیلاب به میزان بسیار زیادی افزایش می‌یابند. گاهی به دلیل شرایط نامناسب و خطرناک امکان اندازه‌گیری مستقیم از میان می‌رود. معمولاً سعی می‌شود که با اندازه‌گیری دائمی اشل که امری کم هزینه و آسان است و همچنین با اندازه‌گیری‌های دبی‌های جریان در فواصل زمانی مشخص به ایجاد رابطه بین دبی و اشل اقدام کرده و در نتیجه دبی مواقعی که اندازه‌گیری در آنها صورت نگرفته را برآورد نمود. در این تحقیق تلاش شده با ساخت دو نوع شکل بستر مصنوعی ریپل، در فلوم آزمایشگاهی منحنی دبی-اشل به کمک روش‌های مختلف نظیر اینشتین-بارباروسا، شن، وایت و همکاران برآورد شود تا دقت این روش‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد.



شکل 2- منحنی دانه‌بندی رسوبات استفاده شده  
Figure 2- Grading curve of sediments used

روش گفته شده ساخته شد. شکل 3 نمونه‌ای از ریپل‌های موازی ساخته شده را نشان می‌دهد.

#### برنامه‌ریزی آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در 4 شیب 0,0005، 0,001، 0,002 و 0,003 و در 4 دبی 10، 20، 30 و 40 لیتر در ثانیه انجام شد. در هر آزمایش عمق متوسط جریان اندازه‌گیری گردید. سرعت جریان به کمک دستگاه سرعت سنج ADV سه بعدی اندازه‌گیری شد. با توجه به برنامه فوق تعداد کل آزمایش‌ها 32 عدد بود. در هر آزمایش عمق متوسط جریان با استفاده از یک عمق سنج مجهز به کولیس با دقت 0/01 سانتیمتر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری سرعت جریان به کمک دستگاه سرعت-سنج سه بعدی ADV ساخت نروژ که دارای دقت اندازه‌گیری  $\pm 1$  میلیمتر بر ثانیه بود، انجام گرفت. در این اندازه‌گیری از فرکانس 200 هرتز استفاده شد و مدت اندازه‌گیری سرعت جریان در هر نقطه حداقل 2 دقیقه بود. در ریپل‌های موازی اندازه‌گیری سرعت در سه ایستگاه در مسیر جریان (نواحی ابتدائی، میانی و انتهائی جریان) و در هر ایستگاه در سه مقطع (قبل، روی و بعد از ریپل) انجام گرفت. در هر آزمایش منحنی دبی-اشل براساس اندازه‌گیری‌ها بدست آمد. این منحنی‌ها ملاک ارزیابی روشهای تجربی بود.

#### ابعاد و شکل ریپل‌ها

بدیهی است که ابعاد ریپل‌های مورد آزمایش باید با ابعاد تلماسه‌های موجود در جریان‌های طبیعی رودخانه‌ها هم‌خوانی داشته باشد تا بتوان آنها را به عنوان مدلی از جریان‌های طبیعی در نظر گرفت. براساس مطالعات انجام شده ریپل‌های موجود در طبیعت طول موجی کمتر از 30 سانتی‌متر دارند و ارتفاع آنها بین 0/5 تا 2 سانتی-متر است. بیشترین ارتفاع ریپل‌ها هم 5 سانتیمتر مشاهده شده است. در مقطع طولی رودخانه ریپل‌ها تقریباً به شکل مثلث هستند. شیب وجه بالا دست این ریپل‌ها نسبتاً ملایم و بلند و شیب وجه پایین دست آنها تند و کوتاه بوده و تقریباً برابر با زاویه‌ی ایستایی مواد بستر (Ø) است (2).

در این تحقیق مقدار طول موج ریپل‌ها برابر 30 سانتیمتر و ارتفاع آنها 3 سانتیمتر بود. مقدار زاویه ایستایی برای ذرات با قطر متوسط 0/52 میلیمتر برابر 32 درجه اندازه‌گیری شد، لذا شیب وجه پایین دست ریپل‌ها برابر 32 درجه و شیب وجه بالادست آنها ملایم و برابر 8 درجه در نظر گرفته شد. شکل ریپل‌ها با مواد چسب سیمان تثبیت گردید لذا در همه آزمایشات تمام پارامترهای فیزیکی مانند ارتفاع و زاویه ایستایی مواد بستر و طول موج ریپل‌ها ثابت بود. با توجه به هدف تحقیق حاضر که مقایسه تأثیر دو شکل بستر ریپل بر روابط دبی-اشل است، دو نوع شکل بستر، حالت‌های موازی و پولکی به



(ب)



(الف)

شکل 3- نمونه ای از ریپل‌های مورد آزمایش درون فلوم آزمایشگاهی، الف- ریپل موازی؛ ب- ریپل پولکی  
Figure 3-the sample of ripple tested in the flume- A: parallel ripple-B:Flak ripple

$$\frac{U_*'}{V} = 0.03 + 0.111 \frac{\Psi'}{7.12} \quad (8)$$

وایت وهمکاران (1979)، روشی مبتنی بر 1432 داده آزمایشگاهی و 263 داده میدانی برای رژیم جریان پایینی بصورت زیر ارائه کردند:

$$y_{gr} = \left( \frac{U_*'^n}{\sqrt{(G_s - 1)gD_{gs}}} \right) \left( \frac{V}{5.6610g \left( \frac{D_{gs}}{D_{gs}'} \right)} \right)^{1-n} \quad (9)$$

که در آن مقدار  $y_{gr}$  عبارتست از متغیر حرکت و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\frac{y_{gr} - y_{cr}}{y_{fg} - y_{cr}} = 1 - 0.76(1 - e^{-P}) \quad (10)$$

مقدار  $y_{fg}$  نیز برابر است با:

$$y_{fg} = \frac{U_*'}{\sqrt{(G_s - 1)gD_{gs}}} \quad (11)$$

$$D_* = D_{gs} \left( \frac{(G_s - 1)g}{\rho^2} \right)^{1.23} \quad (12)$$

$$P = (\log(D_*))^{-7} \quad (13)$$

باشد:  $1 < D_* < 60$  برای حالتی که

$$n = 1 - 0.56 \log D_* \quad (14)$$

$$y_{cr} = \frac{0.23}{\sqrt{D_*}} + 0.14 \quad (15)$$

و برای حالتی که  $D_* > 60$  باشد:  $n=0$  و  $y_{cr}=0.17$  خواهد بود.

در این تحقیق میزان دبی اشل به سه روش اینشتین - بارباروسا، شن و وایت برآورد گردیده و با مقادیر اندازه‌گیری شده بر روی شکل‌های بستر مقایسه شد.

## نتایج و بحث

شکل‌های 4 و 5 منحنی دبی-اشل اندازه‌گیری و محاسبه شده را برای شیب‌های 0/0005 و 0/001 برای دو حالت ریپل‌های موازی و پولکی نشان می‌دهند. بدلیل اینکه شکل بستر ثابت فرض شده و تغییر نکرده است عدم پیوستگی در منحنی‌های دبی-اشل مشاهده نمی‌شود. در رژیم جریان پایینی که شکل بستر غالباً ریپل و تلماسه بوده مقاومت در مقابل جریان زیاد است و افزایش مقاومت بیشتر ناشی از زبری مربوط به شکل بستر است. به منظور بررسی بیشتر و مقایسه دقیق‌تر، از روشهای آماری به شرح زیر استفاده شد (10):

1- $\alpha$ : که عبارتست از شیب خط رگرسیون بین دبی‌های محاسبه شده و اندازه‌گیری شده که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\alpha = Q_m / Q_p \quad (16)$$

2- متوسط مجذور مربعات خطا (RMSE) که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{mi} - Q_{cal})^2}{N}} \quad (17)$$

در این روابط  $N$  تعداد داده‌ها،  $Q_m$  و  $Q_{cal}$  به ترتیب دبی‌های اندازه‌گیری شده و دبی محاسباتی به روشهای تجربی مختلف است. هرچه  $\alpha$  به یک و RMSE به صفر نزدیکتر باشد دقت مدل در تخمین رابطه دبی-اشل بالاتر است.

## روش‌های محاسبه دبی-اشل

در این تحقیق از روشهای مرسوم در تهیه منحنی دبی-اشل استفاده شد (9). از جمله روش اینشتین و بارباروسا مورد استفاده قرار گرفت. در این روش شعاع هیدرولیکی سطح مقطع جریان به دو بخش یعنی شعاع هیدرولیکی مربوط به زبری ذره ( $R'$ ) و شعاع هیدرولیکی مربوط به زبری شکل بستر ( $R''$ ) تقسیم می‌شود. بدین منظور ابتدا یک شعاع هیدرولیکی مربوط به زبری ذره فرض شده و سرعت برشی مربوط به ذره محاسبه می‌شود. سپس به کمک رابطه زیر سرعت متوسط جریان محاسبه می‌گردد:

$$\frac{V}{U_*'} = 5.75 \log \left( 12.27 \left( \frac{R'}{D_{65}} \right) x \right) \quad (1)$$

که در آن  $D_{65}$  قطری برحسب متر است که 65 درصد وزنی مواد از آن کوچکتر هستند.  $x$  فاکتور تصحیح و بیانگر رژیم جریان است که خود تابعی از  $D_{65}$  و ضخامت لایه مرزی جریان است. از طرفی طبق نظر اینشتین میزان حمل مواد رسوبی در رودخانه‌های آبرفتی تابعی از شدت تنش نیز هست که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Psi' = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \frac{D_{gs}}{R'S} \quad (2)$$

شدت تنش پارامتری بدون بعد است که مطابق روابط زیر تعیین می‌شود:

$$f(\Psi') = \frac{V}{U_*'} = 43.39(\Psi'^{-1.221}) \quad \Psi' \leq 2.5 \quad \text{اگر} \quad (3)$$

$$f(\Psi') = \frac{V}{U_*'} = 23.522(\Psi'^{-0.42154}) \quad \text{اگر} \quad \Psi' > 2.5$$

سرعت برشی به کمک رابطه شعاع هیدرولیکی مربوط به زبری فرم بستر بدست می‌آید:

$$U_*' = \sqrt{gR'S} \quad (5)$$

سپس شعاع هیدرولیکی از رابطه  $R = R'' + R'$  محاسبه می‌شود و با داشتن سرعت و سطح مقطع، دبی عبوری محاسبه می‌گردد. با فرض کردن مقدار دیگری برای  $R'$  دبی دیگری محاسبه خواهد شد. در صورتی که قدم‌های فوق تکرار شود می‌توان رابطه‌ی دبی-اشل را برقرار کرد.

شن (1962)، با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی، روشی را برای تعیین  $R''$  ارائه داد که مشابه روش اینشتین است. با این تفاوت که: برای  $\Psi' > 10$  در حالت بوجود می‌آید:

$$\lambda = \left( \frac{\omega D_{65}}{\rho} \right)^{0.5} \quad \text{برای} \quad \frac{\omega D_{65}}{\rho} < 10$$

$$\frac{U_*'}{V} = 0.111 \log \frac{\Psi'}{\lambda} + 0.03 \quad (6)$$

برای  $\frac{\omega D_{65}}{\rho} > 100$

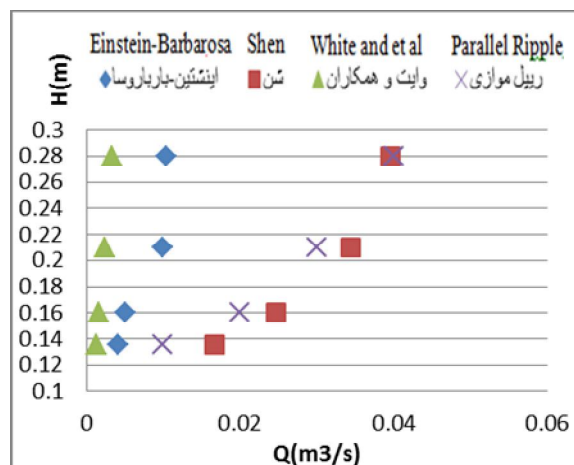
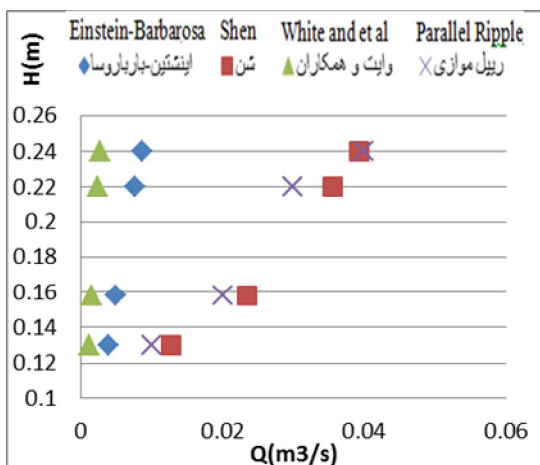
$$\frac{U_*'}{V} = 0.064 - 0.0909 \log \frac{\Psi'}{7.12} \quad (7)$$

برای  $\Psi' < 10$  رابطه زیر صادق است:

4- متوسط خطای مطلق (%AME)، که از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

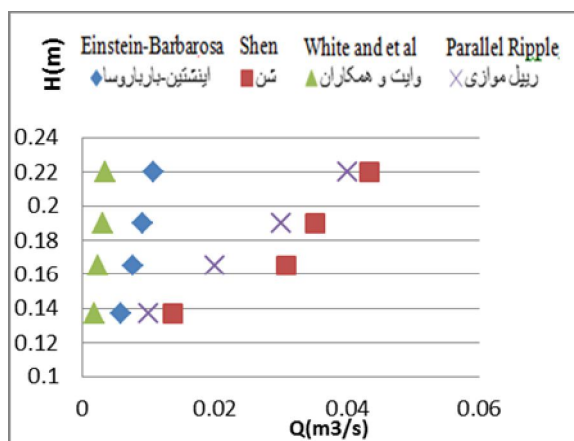
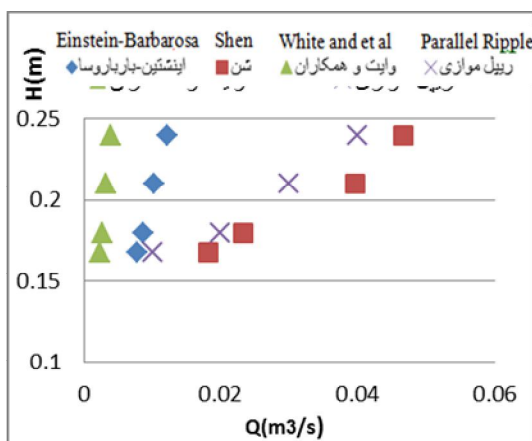
$$\%AME = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{mi} - Q_{(cal)i}|}{N} \quad (18)$$

3- مجذور ضریب همبستگی ( $R^2$ )، که از طریق رگرسیون خطی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و واقعی بدست می‌آید. هر چه ضریب همبستگی به یک نزدیکتر باشد مدل بهتر می‌تواند مقادیر دبی اندازه‌گیری شده را تخمین بزند.



شکل 4- مقایسه منحنی دبی-اشل اندازه‌گیری شده و محاسبه شده به روش‌های مختلف - شیب کف 0/00050

Figure 4 - Comparison of measured and calculated Stage- discharge rating curve in different methods- bed slop 0.0005



شکل 5- مقایسه منحنی دبی-اشل اندازه‌گیری شده و محاسبه شده به روش‌های مختلف - شیب کف 0/001

Figure 5 - Comparison of measured and calculated Stage- discharge rating curve in different methods- bed slop 0.001

سایر روش‌هاست. روش اینشتین نیز همانند روش وایت مقدار دبی را کمتر از مقدار واقعی برآزش می‌کند. طبق اظهارات گارد و رانگاراچو (1966) روش اینشتین - بارباروسا نتیجه مطلوبی نمی‌دهد.

با توجه به مقادیر اشل اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه، مقادیر دبی متناظر آن از طریق روش‌های گفته شده محاسبه شد. در نهایت برای ارزیابی این روش‌ها جدولی به کمک پارامترهای آماری گفته شده تنظیم شد. خلاصه نتایج آماری همراه با ذکر روش در جدول 1 آمده است.

مقایسه نتایج در جدول 1 و شکل 6 نشان می‌دهد که روش وایت دارای بیشترین مقدار  $\alpha$ ، RMSE و متوسط خطای مطلق نسبت به

جدول 1- مقایسه روش‌های مختلف با استفاده از پارامترهای آماری

Table 1-Comparison of different methods using the statistical parameters

وایت و همکاران White et al		شن shen		اینشتین - بارباروسا Einstein-Barbarosa		روش Method
پولکی flak shape	موازی parallel shape	پولکی flak shape	موازی parallel shape	پولکی flak shape	موازی parallel shape	نوع ریبیل Ripple type
7.5	7.030	0.75	0.78	2.225	2.167	$\alpha$
0.024	0.023	0.009	0.007	0.0157	0.0154	RMSE
2.14	2.096	1.1	1.01	1.4	1.7	%E
0.1	0.015	0.43	0.87	0.2	0.22	R <sup>2</sup>

تا در صورت نوسانات سطح آب، پیش بینی درستی از دبی عبوری از رودخانه در آن محل موجود باشد. رابطه دبی اشلاز جمله اطلاعات پایه‌ای برای محاسبات گوناگون هیدرولوژیک، هیدرولیک و رسوب رودخانه‌ها و کانال‌های با بستر خاکی است که غالباً به طور تجربی در ایستگاه‌های هیدرومتری و تنها با در نظر گرفتن زبری ذرات بستر و بدون در نظر گرفتن اطلاعات رسوب، در شرایط غیرسیلابی تعیین می‌شود. پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به دانه‌بندی و خصوصیات مواد بستر، داده‌های دبی و اشل از طریق روشهای اینشتین بارباروسا، شن و وایت اندازه‌گیری شد. براساس نتایج این تحقیق در مقطعی از رودخانه که شکل بستر به صورت ریبیل است روش شن روابط دبی-اشل را بهتر پیش بینی می‌کند. این مسئله می‌تواند بدین دلیل باشد که از مقادیر دبی و عمق کمی استفاده شده است. زیرا براساس مطالعات سایمون و شنتورک (1992) روش شن در اعماق کم و در شرایط غیر سیلابی دقت بسیار بالایی دارد (9). در این تحقیق صحت این موضوع تأیید شد. بدلیل اینکه در دبی‌های پایین امکان تغییر شکل بستر کمتری وجود دارد در نتیجه رابطه دبی-اشل کمتر دستخوش تغییرات خواهد شد. همچنین این روش در حالتی که ریبیل-ها در مراحل اولیه شکل‌گیری خود هستند منحنی دبی-اشل را با دقت بهتری تخمین می‌زند. همچنین روش شن با دقت بسیار بالاتری نسبت به سایر روش‌های بررسی شده در این تحقیق برای محاسبه و یا تکمیل رابطه دبی-اشل در شرایط با شکل بستر ریبیل کاربرد دارد.

طبق نظریه‌ی یالین (1976) دلیل عدم صحت نتایج حاصل از این روش با مشاهدات در این است که میزان حرکت رسوبات فقط به یک متغیر بی بعد مربوط شده است، در حالی که متغیرهای دیگر در این امر دخالت دارند (9). این روش نتایج قابل قبولی برای حالتی که بستر رودخانه دارای فرم دون یا بستر صاف باشد، ارائه می‌دهد. البته با بکار بردن روش ونونی و بروکز برای محاسبه شعاع هیدرولیکی، مقدار خطای حاصل از روش اینشتین تا حدی کاهش می‌یابد (9). مطابق اظهارات سایمون و شنتورک، روش شن برای حالتی که ریبیل‌ها تشکیل شوند و یا بستر صاف باشد، نسبتاً خوب است که دلیل آن می‌تواند پارامترهای باشد که در معادلات مربوط به این روش به کار گرفته شده است به عبارتی پارامترهایی که در این روش بکار گرفته شدند در رابطه با شکل ریبیل مؤثرتر هستند (9). در این تحقیق نیز این موضوع مورد تأیید قرار گرفت. در روش شن میزان RMSE کمتر از سایر روشها بوده و همچنین RMSE و متوسط خطای مطلق نیز کمتر است، لذا به واقعیت نزدیکتر است. از طرفی بر اساس اشکال 4 و 5 و جدول 1 روش شن برای حالتی که ریبیل‌ها بصورت موازی بوده و به اصطلاح در مراحل اولیه شکل‌گیری خود هستند بهتر جواب می‌دهد. در این حالت مقادیر پارامترهای آماری اندازه‌گیری شده مناسبتر

### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به تأثیر فرم بستر در برآورد رابطه دبی-اشل باید در محل احداث دهانه آبگیر به خصوصیات بستر در آن محل توجه شود

### منابع

- 1- Bhattacharya B., and Solomatine D.P. 2000. Application of artificial neural network in stage-dicharge relationship. 4<sup>th</sup> International conference on Hydroinformatics, 2000. Iowa city, USA.
- 2- Carling P.A. 1999. Subaqueous gravel dunes, Journal of Sedimentary Research, 69: 534-545.
- 3- Chien N., and Wan Z. 1999. Mechanics of Sediment Transport. ASCE Press, Reston.
- 4- Chubak N.J.J., and McGinn R.A. 2002. Evaluating outlet flow for Clear Lake, Riding Mountain National Park, Manitoba: A rating curve based on lake levels, Annual Meeting of the Canadian Association of Geographers, Toronto, Ontario.

- 5- Gessler D. J., and Watson C. 1998. Prediction of Discontinuity in Stage- Discharge Rating Curves, Journal of Hydraulic Engineering, 124: 243-252.
- 6- Ghobadian R., Merati E., and Taheri Tizro A. 2013. Prediction of stage – discharge relationship in Ghorbaghestan hydrometry station according to bed form resistance equations, Journal of Science and Technology Agricultural and Natural Resource, 17:61-70. (In Persian with English abstract).
- 7- Guide of determined Stage- Discharge Rating Curves using the Einstein-Barbarvsa, 1996. Publication No. 156, Budget and Planning Organization, Ministry of Energy.
- 8- Ozhan M., mahdavi M., Khalighi sigarodi Sh., and Haghiabi A. 2010. Assessment methods of stage-discharge rating curve for determination discharge for maximum stages, Journal of Science and Technology Agricultural and Natural Resource, 25:17-54.
- 9- Shafai Bajestan M. 2008. Basic Theory and Practice of Hydraulics of sediment Transport. Shahid chamran university press, Iran.
- 10- Shojaeian Z., and Hosseinzadeh A. 2010. Calibration and experimental methods for the estimation of the relationship of stage-discharge rating curve due to bed form (Case study hydrometry stations Abdolkhan).Fifth National Congress on Civil Engineering, 14-16 May.2010. Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
- 11- Vafakhah M., and Shojai Gh. 2007. Determination of best relationship of stage – discharge in hydrometry station zayanderod dam, Journal of Science and Technology Agricultural and Natural Resource,42:315-322.
- 12- White W., Paris E., and Bettess R. 2005. A New General Method for Prediction of the Frictional Characteristics of Alluvial Streams, Wallingford, Report No.187, England.



## Assessment of Estimation Methods For Stage-Discharge Rating Curve in Rippled Bed Rivers

P. Maleki<sup>1\*</sup> - M.J. Ketabdari<sup>2</sup> - H. Samadi-Boroujen<sup>3</sup> - D. Maleki<sup>4</sup>

Received: 13-06-2013

Accepted: 07-06-2015

**Introduction:** Interaction between water flow characteristics and the bed erodibility plays an important role in sediment transport process. In order to reach stability, rivers with deposition or bottom erosion make a different bed form in the riverbed. One way to identify the behavior of the rivers is to study the structure and formation of bed forms within them. Ripples are the smallest of the bed forms. The longitudinal cross section of ripples are usually not symmetrical. The upstream face is long and has a gentle slope, and the downstream face is short and steep. The height of ripples is usually between 0.5 cm and 2 cm; the height ripple is not more than 5 cm. The wave lengths normally do not exceed 30 cm, and they are usually within the range of 1 cm to 15 cm. Their occurrence is the result of the unstable viscous layer near the boundary. They can form in both shallow and deep water. With an increase of the flow velocity, the plan form of the ripples gradually develops from straight line to curves and then to a pattern like fish scales, symmetrical or unsymmetrical, as shown in Fig 1.

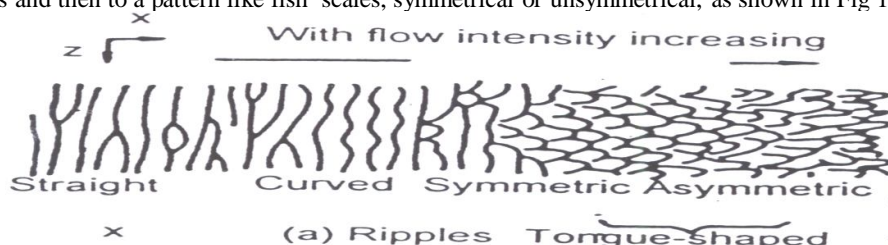


Figure 1-The pattern development of the ripple

Raudkivi (1966) was the first person that, the flow structure over ripples was investigated experimentally. He then established several different conditions on the moving sand bed in a laboratory channel consisted of a rectangular cross-section with base width of 70 cm, was able to form a row of ripples, he was successful to form a row of ripples. Jafari Mianaei and Keshavarzi (2008), studied the turbulent flow between two artificial ripples for investigate the change of kinetic energy and shear stress on over ripples. The stage-discharge rating curve is one of the most important tools in the hydraulic studies. In alluvial rivers, bed ripples are formed and significantly affect the stage-discharge rating curve. In this research, the effects of two different type of ripples (parallel and flake shape) on the hydraulic characteristics of flow were experimentally studied in a flume located at the hydraulic laboratory of Shahrood University, Iran.

Bass (1993) [reported in Joep (1999)], determined an empirical relation between median grain size,  $D_{50}$ , and equilibrium ripple length,  $l$ :

$$L = 75.4 (\log D_{50}) + 197 \quad \text{Eq. (1)}$$

Where  $l$  and  $D_{50}$  are both given in millimeters.

Raudkivi (1997) [reported in Joep (1999)], proposed another empirical relation to estimate the ripple length that  $D_{50}$  is given in millimeters:

$$L = 245 (D_{50})^{0.35} \quad \text{Eq. (2)}$$

Flemming (1988) [reported in Joep (1999)], derived an empirical relation between mean ripple length and ripple height based on a large dataset:

$$h_m = 0.06771 l^{0.8098} \quad \text{Eq. (3)}$$

Where  $h_m$  is the mean ripple height (m) and  $l$  is the mean ripple length (m).

Ikeda S. and Asaeda (1983) investigated the characteristics of flow over ripples. They found that there are separation areas and vortices at lee of ripples and maximum turbulent diffusion occurs in these areas.

1, 3- M.Sc Graduated and Associate Professor, Department of Water Engineering, Shahrood University, Shahrood, Iran

(\* - Corresponding Author Email: parimaleki.6771@gmail.com)

2, 4- Associated Professor and M.Sc, Faculty of Marine Technology, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

**Materials and Methods:** In this research, the effects of two different type of ripples on the hydraulic characteristics of flow were experimentally studied in a flume located at the hydraulic laboratory of Shahrekord University, Iran. The flume has the dimensions of 0.4 m wide and depth and 12 m long. Generally 48 tests variety slopes of 0.0005 to 0.003 and discharges of 10 to 40 lit/s, were conducted. Velocity and the shear stress were measured by using an Acoustic Doppler Velocimeter (ADV). Two different types of ripples (parallel and flake ripples) were used. The stage- discharge rating curve was then estimated in different ways, such as Einstein - Barbarvs, shen and White et al.

**Results and Discussion:** In order to investigate result of the tests, were used statistical methods. White method as a maximum value of  $\alpha$ , RMSE, and average absolute error than other methods. Einstein method offitting the discharge under estimated. Evaluation of stage- discharge rating curve methods based on the obtained results from this research showed that Shen method had the highest accuracy for developing the stage-discharge rating curve than other methods. It also showed that the Shen method was much accuracy by the parallel shape of ripple bed form compared with the flake shape.

**Conclusion:** Evaluation of stage- discharge rating curve methods based on the obtained results from this research showed that Shen method had the highest accuracy for developing the stage- discharge rating curve than other methods. It also showed that the Shen method was much accuracy by the parallel shape of ripple bed form compared with the flake shape. The results of the estimation of statistical parameters such as root mean square error (RMSE) and mean percent error for these cases indicated that the Shen method is associated with the lowest RMSE and error percentage. Therefore it estimates the stage- discharge rating curve more accurately than other methods. Furthermore in the case of parallel and flake ripple bed forms correlation coefficient was obtained as 0.87 and 0.43 respectively. This indicates that the Shen method is more accurate for the parallel shape of rippled bed forms than the flake shape ones.

**Keywords:** Alluvial River, Bed Form, Flake Ripple, Parallel Ripple