

کاربرد روش دونقطه برای تخمین پارامترهای هیدرودینامیک جریان در رودخانه‌های کوهستانی با بستر قله‌سنگی

سید احسان باقری^{*۱} - حسین افضلی‌مهر^۲ - الهام فاضل نجف آبادی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۶

چکیده

مطالعه رودخانه‌های نواحی کوهستانی اخیراً مورد توجه محققین علم هیدرولیک قرار گرفته است (۱ و ۲۱). برآورد مقاومت جریان از کلیدی‌ترین پارامترهای طراحی و کاربرد مدل‌های هیدرولیکی است ولی اندازه‌گیری سرعت جریان و محاسبه سرعت برشی به‌منظور تخمین مقاومت جریان بسیار دشوار و زمان‌بر می‌باشد. به همین دلیل در این مطالعه از یک روش ساده برای برآورد سرعت برشی استفاده شد و بر اساس آن مقاومت جریان در یک رودخانه کوهستانی محاسبه گردید. در این راستا ۱۰ مقطع عرضی با بستر قله‌سنگی رودخانه بهشت آباد که در نواحی کوهستانی مرکزی ایران واقع شده است مورد مطالعه قرار گرفت. توزیع نیمرخ سرعت در بستر قله‌سنگی و همچنین دقت روش دو نقطه در برآورد سرعت متوسط و سرعت برشی بررسی و مقادیر تابع مقاومت جریان با استفاده از این دو پارامتر محاسبه گردید. به منظور مقایسه نتایج حاصل از روش دو نقطه، مقادیر سرعت متوسط با استفاده از تمام نقاط نیمرخ سرعت و نیز مقادیر سرعت برشی با کاربرد روش سهمی و مشخصات لایه مرزی محاسبه شدند و بر اساس این مقادیر، تابع مقاومت جریان برای هر نیمرخ سرعت محاسبه گردید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که نیمرخ‌های سرعت برداشت شده از توزیع S شکل و توزیع لگاریتمی پیروی می‌کنند. همچنین دقت مقادیر سرعت متوسط و سرعت برشی محاسبه شده با روش دو نقطه‌ای و تابع مقاومت جریان حاصل از آنها به ترتیب ۹۴/۶، ۸۵/۶ و ۸۴ درصد می‌باشد. بر این اساس مقادیر سرعت متوسط و سرعت برشی حاصل از این روش می‌تواند با دقت مناسبی مورد استفاده قرار گرفته و در سایر مناطق کوهستانی کشور به کار رود.

واژه‌های کلیدی: توزیع نیمرخ سرعت، روش سهمی، مشخصات لایه مرزی، رودخانه بهشت‌آباد، مقاومت جریان

مقدمه

برداشت داده‌های سرعت می‌گردد. بسیاری از محققین هیدرولیک از جمله پیترسون و موهانتی (۲۴)، میراجاواکر و کارلو (۲۳)، هریبیچ و شولیتس (۱۷)، لاورنس (۲۰)، فررو (۱۵)، بترت (۱۳) و افضلی‌مهر و همکاران (۱۰) تاثیر وجود عناصر درشت دانه بستر بر مشخصه‌های جریان را مطالعه نمودند، این دانشمندان مشاهده نمودند که بسیاری از مشخصه‌های هیدرولیکی جریان در این بسترها با بسترهای ریز دانه متفاوت است. افضلی‌مهر و همکاران (۱۰) با استفاده از روش دو نقطه معادله‌ای برای محاسبه ضریب اصطکاک در رودخانه‌های کوهستانی ارائه نمودند و بیان نمودند که در رودخانه‌های قله‌سنگی و تخته-سنگی، شناوری نسبی مهمترین عامل موثر بر ضریب اصطکاک می‌باشد. ین (۳۰ و ۳۱) بیان نمود درک ما از مسأله مقاومت جریان مبتنی بر گسترش دانش موجود در لوله‌ها و بسترهای ثابت بدون تخلخل می‌باشد که متفاوت از بستر رودخانه‌ها است. وی به این نتیجه رسید که پیشرفت در بحث مقاومت جریان مبتنی بر درک و کاربرد تئوری لایه مرزی و نحوه توزیع نیمرخ سرعت در رودخانه‌ها

به دلیل توسعه مناطق شهری به سمت مناطق کوهستانی به-خصوص طی ۳۰ سال اخیر مطالعات هیدرولیک و هیدرولوژیک رودخانه‌های مناطق کوهستانی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند (۱۰، ۱۳ و ۱۹). مهمترین پارامترهای هیدرولیکی که مورد مطالعه قرار گرفته‌اند عبارتند از: سرعت جریان، سرعت برشی، ضریب اصطکاک و تنش برشی که جزء عوامل موثر بر مقاومت در برابر جریان می‌باشند (۲۱ و ۲۶). در بعضی از مطالعات هیدرولیک که به‌منظور محاسبه سرعت متوسط در رودخانه‌ها صورت می‌پذیرد از روشی موسوم به روش دو نقطه استفاده می‌شود در این روش تنها در دو نقطه به فواصل $0.2h$ و $0.8h$ عمق کل جریان است) از سطح آب اقدام به

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
* - نویسنده مسئول: (Email: Ehsanbagheri4201@gmail.com)

ولمن (۲۸) اقدام به جمع آوری قلوه‌سنگ از بستر گردید. برای برداشت نیمرخ سرعت از مولینه پروانه‌ای با دقت حدود ۲/۵ درصد استفاده شد، این وسیله قادر به اندازه‌گیری مقادیر سرعت در راستای جریان می‌باشد. زمان داده‌برداری برای هر نقطه ۴۰ ثانیه بود و اندازه‌گیری در هر نقطه با سه تکرار صورت گرفت، میانگین این سه داده به عنوان مقدار سرعت آن نقطه در نظر گرفته شد. در هر نقطه متناسب با عمق جریان، سعی شد نیمرخ‌های برداشت شده حداقل دارای ۸ نقطه اندازه‌گیری سرعت از نزدیکی بستر تا سطح آب باشند و متوسط فواصل نقاط اندازه‌گیری ۵ سانتی متر در نظر گرفته شد. قطر پروانه مولینه مورد استفاده در این مطالعه حدود ۵ سانتیمتر بود، به همین دلیل اولین نقطه اندازه‌گیری در فاصله ۲/۵ سانتی‌متری از بستر قرار داشت.

در این تحقیق برای محاسبه سرعت از دو روش استفاده شد، در روش اول با استفاده از اطلاعات سرعت نقطه‌ای برداشت شده در عمق ۰/۲h و ۰/۸h از سطح آب (روش دو نقطه) سرعت متوسط با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید.

$$u_{TPM} = \frac{u_{0.2} + u_{0.8}}{2} \quad (1)$$

در معادله فوق u_{TPM} سرعت متوسط محاسبه شده نیمرخ سرعت با استفاده از روش دونقطه و $u_{0.2}$ و $u_{0.8}$ به ترتیب سرعت جریان در فاصله ۰/۲h و ۰/۸h از سطح آب در نیمرخ سرعت می‌باشند. در روش دوم با استفاده از تمامی نقاط برداشت شده نیمرخ سرعت، مقدار سرعت متوسط با استفاده از معادله ۲ محاسبه گردید:

$$u_{vp} = \frac{1}{h} \int_0^h u_z dz \quad (2)$$

در این معادله u_{vp} سرعت متوسط محاسبه شده با استفاده از تمامی نقاط برداشت شده نیمرخ سرعت، u_z سرعت اندازه‌گیری شده در عمق Z از سطح مینا و h عمق کل جریان است.

همچنین مقادیر سرعت برشی هر نیمرخ سرعت با استفاده از سه روش شامل: روش دونقطه، سهمی و لایه مرزی محاسبه گردیدند. در این تحقیق مقادیر سرعت برشی با استفاده از روش دونقطه و بر مبنای قانون لگاریتمی با استفاده از معادله ۳ محاسبه گردید (۹ و ۲۶).

$$u_{*TPM} = \frac{\kappa(u_{0.2} - u_{0.8})}{\ln\left(\frac{Z_{0.2}}{Z_{0.8}}\right)} \quad (3)$$

در معادله فوق u_{*TPM} سرعت برشی محاسبه شده از روش دو نقطه، K ثابت ون کارمن (برابر با ۰/۴) و $Z_{0.2}$ و $Z_{0.8}$ به ترتیب عمق‌های اندازه‌گیری شده در نقاط به فواصل ۰/۲h و ۰/۸h از سطح آب در نیمرخ سرعت می‌باشند. اگرچه K در صورت و $\ln(Z_{0.2}/Z_{0.8})$ در مخرج معادله ۳ برای هر نیمرخ دارای مقادیر ثابتی هستند، اما با تغییر مکان

می‌باشد. جرت (۱۹)، بترت (۱۱ و ۱۲)، استون و هاچکس (۲۶)، افضل‌ی مهر و سین (۷)، افضل‌ی مهر (۹) و افضل‌ی مهر و همکاران (۱۰) نحوه توزیع نیمرخ‌های سرعت و عوامل موثر بر آن را در رودخانه‌های با بستر درشت دانه مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که زبری ذرات، شکل و اندازه ذرات، عمق جریان و جریان‌های ثانویه از مهمترین عوامل موثر بر این توزیع می‌باشند. استون و هاچکس (۲۶) دریافتند که نیمرخ‌های سرعت به طور کلی از قانون لگاریتمی پیروی می‌کنند ولی در نزدیکی بستر و سطح آب بیشترین انحراف از این قانون مشاهده می‌شود.

با توجه به اینکه در منابع علمی مطالعات محدودی در زمینه بررسی پارامترهای هیدرودینامیک جریان و ارزیابی دقت روش دو نقطه در برآورد این پارامترها به ویژه در رودخانه‌های کوهستانی با بستر درشت دانه موجود است، لذا اهداف این تحقیق عبارتند از: ۱- مطالعه توزیع نیمرخ سرعت در بستر قلوه‌سنگی و اعتبار قانون لگاریتمی و قانون سهمی ۲- ارزیابی دقت روش دو نقطه در برآورد سرعت متوسط و سرعت برشی و تخمین دقت تابع مقاومت جریان محاسبه شده با استفاده از نتایج روش دو نقطه. بنابراین نتایج این تحقیق می‌تواند علاوه بر تخمین سرعت متوسط جریان و سرعت برشی، برآورد مقاومت جریان در مناطق کوهستانی را که اغلب توأم با خطرات ناشی از داده‌برداری در رودخانه‌های این مناطق و تخصیص زمان فراوان می‌باشد با سهولت و دقت مناسب فراهم نماید و در مطالعات هیدرولیک رسوب و طراحی هیدرولیکی کانال‌ها مورد استفاده قرار گیرد (۱ و ۳۱).

مواد و روش‌ها

این تحقیق در رودخانه بهشت آباد که یکی از رودخانه‌های دائمی، پرآب و کوهستانی نواحی مرکزی ایران است و بستر آن درشت دانه و عمدتاً قلوه‌سنگی است انجام شد. در این مطالعه به منظور برداشت داده‌ها ۱۰ مقطع عرضی مناسب به فاصله تقریبی ۲۰ متر از یکدیگر در یک مسیر مستقیم رودخانه انتخاب و در هر یک از آنها ۵ نیمرخ سرعت به فواصل تقریباً یکسان در امتداد مقطع عرضی برداشت گردید، بنابراین در این تحقیق ۵۰ نیمرخ سرعت مورد مطالعه قرار گرفت. درانتخاب مقاطع عرضی سعی شد مقاطع مذکور در قسمتی از رودخانه انتخاب شوند که پوشش گیاهی در کف و دیواره رودخانه ناچیز باشد تا بتوان از اثر آن بر ویژگی‌های هیدرودینامیک جریان صرفنظر نمود. نسبت ظرافت یعنی نسبت عرض به عمق (W/h) در این رودخانه‌ها به‌طور متوسط بیش از ۱۵ است به‌نحویکه برای محاسبات هیدرولیکی این رودخانه‌ها به‌جای شعاع هیدرولیکی (R) از عمق جریان (h) استفاده می‌گردد (۱، ۲، ۱۲ و ۱۹). برای تعیین دانه بندی ذرات بستر در محل برداشت این نیمرخ‌ها با استفاده از روش

δ^* ضخامت جابه‌جایی لایه مرزی و θ ضخامت اندازه حرکت لایه مرزی هستند که به ترتیب به صورت زیر تعریف می‌شوند (۲۵):

$$\delta^* = \int_0^h \left(1 - \frac{u}{u_{\max}}\right) dz \quad (7)$$

$$\theta = \int_0^h \frac{u}{u_{\max}} \left(1 - \frac{u}{u_{\max}}\right) dz \quad (8)$$

پس از محاسبه سرعت متوسط و سرعت برشی از روش‌های ذکر شده برای محاسبه تابع مقاومت جریان از معادله زیر استفاده شد (۱۰):

$$\sqrt{\frac{8}{f}} = \frac{u}{u_*} \quad (9)$$

در این معادله $\sqrt{8/f}$ تابع مقاومت جریان و f ضریب زبری یا مقاومت جریان دارسی-ویسباخ است. برتری این ضریب نسبت به سایر ضرایب زبری، بی‌بعد بودن آن است (۱۰).

در این مطالعه به منظور در نظر گرفتن اختلاف پارامتر محاسبه شده از روش‌های مختلف، از درصد اختلاف نسبی دو پارامتر (E) استفاده شد:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - B_i}{A_i} \right| \times 100 \quad (10)$$

که n تعداد کل داده‌ها است و در این مطالعه برای ۵۰ نیمرخ سرعت $n=50$ است. A_i و B_i به ترتیب پارامتر محاسبه شده برای داده i ام از روش اول و دوم می‌باشند که درصد اختلاف آنها (E) مورد نظر است.

در هر مقطع و یا بازه رودخانه نسبت این مقادیر ثابت تغییر کرده و در پی آن مقدار سرعت برشی (u_{*TPM}) نیز تغییر می‌نماید (۹ و ۱۰).

با توجه به برقراری قانون سهمی در لایه خارجی جریان ($z/h > 0.2$)، افضل‌ی مهر و آنکتیل (۳) معادله ۴ را برای محاسبه سرعت برشی با استفاده از داده‌های ناحیه خارجی ($z/h > 0.2$) ارائه کردند (۳ و ۷).

$$u_{*PM} = \frac{\Omega u_{\max}}{\lambda} \quad (4)$$

در این معادله u_{*PM} سرعت برشی محاسبه شده از روش قانون سهمی، Ω شیب خط رگرسیون بین u_z/u_{\max} و $[1 - (z+0.25d_{50})/(h+0.25d_{50})]^2$ در هر نیمرخ سرعت، u_z سرعت جریان در عمق z از سطح مینا، d_{50} قطر میانه ذرات بستر، u_{\max} حداکثر مقدار سرعت در نیمرخ سرعت و λ ثابتی است که به نقطه جدایی لایه داخلی و خارجی جریان (x) در نیمرخ سرعت بستگی دارد و با استفاده از معادله ۵ تعیین می‌شود:

$$\lambda = \frac{2.5}{2x(1-x)} \quad (5)$$

افضل‌ی مهر و آنکتیل (۵) بر مبنای روش کلانز (۱۴)، روش تجربی مشخصات لایه مرزی را پیشنهاد نمودند. در این روش به‌جای استفاده از بخشی از نیمرخ سرعت از تمام داده‌های نیمرخ سرعت برای محاسبه سرعت برشی استفاده می‌شود، بر این اساس مقادیر سرعت برشی از معادله ۶ محاسبه گردید:

$$u_{*BLM} = \frac{(\delta^* - \theta)u_{\max}}{C\delta^*} \quad (6)$$

در معادله ۶، C ضریب تجربی است که تابع ویژگی‌های جریان است،

جدول ۱- متوسط مقادیر پارامترهای هیدرولیکی در مقاطع عرضی

u_{*TPM} (m/s)	u_{TPM} (m/s)	Re	Fr	\bar{d}_{50} (mm)	W (m)	\bar{h} (m)	شماره مقطع عرضی
۰/۱۰۰	۰/۷۰	$1/2 \times 10^6$	۰/۳۴	۶۶	۱۱/۲	۰/۴۲	۱
۰/۰۵۸	۰/۵۹	$1/3 \times 10^6$	۰/۲۵	۶۸	۱۱/۶	۰/۵۵	۲
۰/۰۵۸	۰/۴۲	$9/2 \times 10^5$	۰/۱۸	۷۱	۱۳/۱	۰/۵۵	۳
۰/۰۸۱	۰/۴۲	$8/3 \times 10^5$	۰/۱۹	۶۵	۱۳/۴	۰/۵۰	۴
۰/۰۵۹	۰/۴۱	$9/0 \times 10^5$	۰/۱۸	۶۹	۱۳/۶	۰/۵۵	۵
۰/۰۶۸	۰/۵۱	$8/8 \times 10^5$	۰/۲۵	۶۴	۱۴/۰	۰/۴۳	۶
۰/۰۷۱	۰/۳۱	$4/8 \times 10^5$	۰/۱۶	۶۶	۱۹/۰	۰/۳۸	۷
۰/۰۶۶	۰/۳۴	$5/6 \times 10^5$	۰/۱۷	۷۱	۱۸/۳	۰/۴۱	۸
۰/۱۱۰	۰/۴۲	$6/6 \times 10^5$	۰/۲۱	۶۳	۱۷/۲	۰/۳۹	۹
۰/۰۵۸	۰/۳۷	$5/7 \times 10^5$	۰/۱۹	۷۰	۱۷/۰	۰/۳۹	۱۰

نتایج و بحث

پارامترهای هیدرولیکی جریان

در جدول ۱ متوسط مقادیر پارامترهای هیدرولیکی در مقاطع عرضی ده گانه نشان داده شده است، در این جدول d_{50} ، h ، u_{TPM} و u_{*TPM} به ترتیب متوسط عمق، قطر میانه ذرات بستر، سرعت (حاصل از روش دو نقطه) و سرعت برشی (حاصل از روش دو نقطه) در هر مقطع عرضی است، به عنوان مثال u_{TPM} در یک مقطع عرضی برابر با میانگین u_{TPM} (سرعت متوسط هر نیمرخ سرعت با استفاده از روش دو نقطه) u_{TPM} نیمرخ سرعت واقع در آن مقطع عرضی است، W عرض، Fr عدد فرود و Re عدد رینولدز مقطع عرضی می‌باشند.

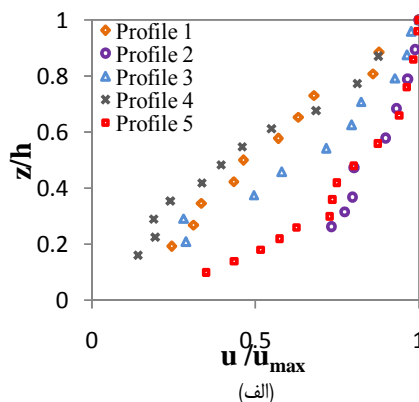
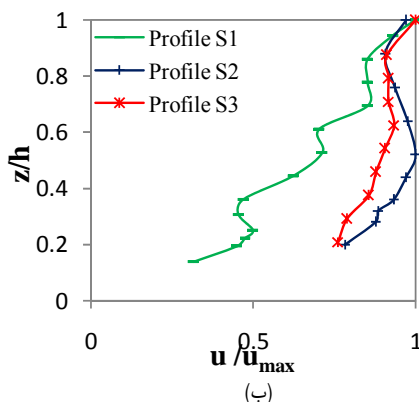
بر اساس این جدول، در این مطالعه متوسط قطر ذرات بستر (d_{50}) ۶۷ میلی‌متر، شناوری نسبی متوسط مقاطع عرضی h/d_{50} ۰/۶۸ و محدوده تغییرات عدد فرود و عدد رینولدز به ترتیب ۰/۳۴-۰/۱۶ و $۴/۸ \times 10^5 - ۱/۳ \times 10^6$ می‌باشد. مطالعه بیش از یکصد بازه در رودخانه‌ای کوهستانی ایران و حدود ۲۰۰ رودخانه در مناطق کوهستانی مختلف جهان نشان می‌دهد که دامنه تغییرات عدد فرود از ۰/۱۲ تا ۰/۵۶ می‌باشد که در این تحقیق نیز این دامنه تأیید می‌گردد (۲). همچنین متوسط مقدار نسبت ظرافت (W/h) در مقاطع عرضی ۳۳/۷ می‌باشد که با مقادیر گزارش شده در منابع علمی برای رودخانه‌های کوهستانی مطابقت دارد (۱۰، ۱۱ و ۱۳).

نیمرخ سرعت

در شکل ۱ (الف) نیمرخ‌های برداشت شده سرعت که با استفاده از مقادیر سرعت حداکثر همان نیمرخ سرعت بی بعد شده‌اند در یکی از

مقاطع عرضی انتخابی (مقطع نهم) نمایش داده شده است و به دلیل محدودیت تعداد صفحات مقاله از ارائه تمامی مقاطع خودداری می‌گردد. این شکل نشان می‌دهد که نیمرخ‌های شماره ۲، ۳ و ۵ توزیع نزدیک به توزیع لگاریتمی دارند در حالیکه نیمرخ‌های ۱ و ۴ از این توزیع منحرف شده‌اند (۲، ۹ و ۲۶). در شکل ۱ (ب) انحراف از توزیع لگاریتمی شدیدتر است و توزیع S شکل در نیمرخ‌های S1، S2 و S3 که در سایر مقاطع عرضی برداشت شده اند به وضوح قابل مشاهده می‌باشد، چنین نیمرخ‌هایی در منابع علم هیدرولیک و مهندسی رودخانه تحت عنوان نیمرخ‌های سرعت S شکل مورد بحث قرار گرفته‌اند (۱۰، ۱۱ و ۱۹). بنابراین در این مطالعه هر دو شکل کلی نیمرخ سرعت در بستر قلوه‌سنگی (لگاریتمی و S شکل) که در منابع علمی به آن اشاره شده است قابل مشاهده می‌باشد (۷، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۹، ۲۲ و ۲۶).

مطالعات متعدد در رودخانه‌های ایران، امریکا، کانادا، نیوزیلند و ایتالیا نشان می‌دهد که توزیع لگاریتمی سرعت به خوبی در ناحیه نزدیک بستر ($z/h < 0/2$) بر داده‌های اندازه‌گیری شده قابل برآزش است (۲). هرچند در رودخانه‌های کم عمق، به دلیل اثرات زبری و نیروی دراگ ناشی از شکل ذرات بستر، نقطه عطفی در نیمرخ سرعت دیده می‌شود که منجر به ایجاد نیمرخ S شکل می‌گردد (۱۱ و ۱۶). عدم پیروی نیمرخ سرعت جریان از توزیع‌های کلاسیک مقعر به دلیل تغییر در مقیاس شناوری نسبی (h/d_{50}) است که سبب ایجاد غیر همگنی در آشفتگی (توربولانس) می‌شود، این غیر همگنی در واقع نمودی از حضور فعال جریان‌های ثانویه و ناحیه جدایی و برخاستگی حول ذرات قلوه سنگ می‌باشد که براساس هیچ یک از تئوری‌های شناخته شده در کتب لایه مرزی و توربولانس قابل تفسیر نیست (۹، ۱۰ و ۲۶).



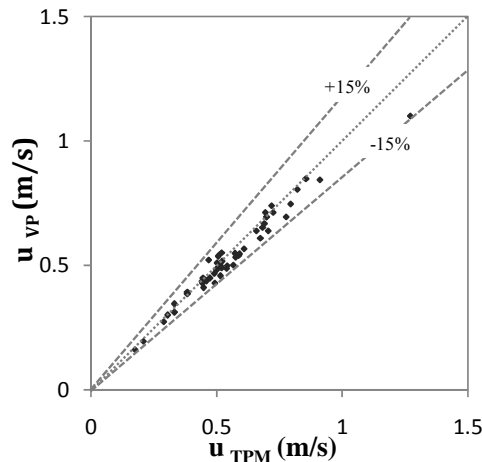
شکل ۱- (الف) توزیع نیمرخ‌های سرعت در مقطع عرضی انتخابی (ب) نمایش توزیع S شکل نیمرخ‌های سرعت

را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است به دلیل کثرت داده‌ها و مقاطع اندازه‌گیری در این مقاله نحوه پیروی از توزیع لگاریتمی سرعت در سه مقطع ارائه می‌گردد، هرچند نتایج حاصل نشان داد که در سایر مقاطع نیز این قانون به صورت مشابه برقرار است. جرت (۱۹) در تحقیق خود بیان کرد که به دلیل دراگ ناشی از شکل قلوه‌سنگ‌ها و تخته سنگ‌های موجود در بستر و سرعت زیاد جریان در نزدیکی سطح آب، انحراف از توزیع لگاریتمی در این رودخانه‌ها مشاهده می‌شود. استون و هاچکس (۲۶) بر اساس مطالعات خود بر روی رودخانه‌های با بستر قلوه‌سنگی بیان نمودند توزیع نیمرخ‌های سرعت در قسمت‌های مختلف رودخانه از نظر شکل بستر، به صورت لگاریتمی هستند و انحراف نسبی از این قانون در اندازه‌گیری انجام شده ناشی از وجود ذرات بزرگ در بستر، جریان‌های ثانویه و دیواره‌های نامنظم رودخانه می‌باشد.

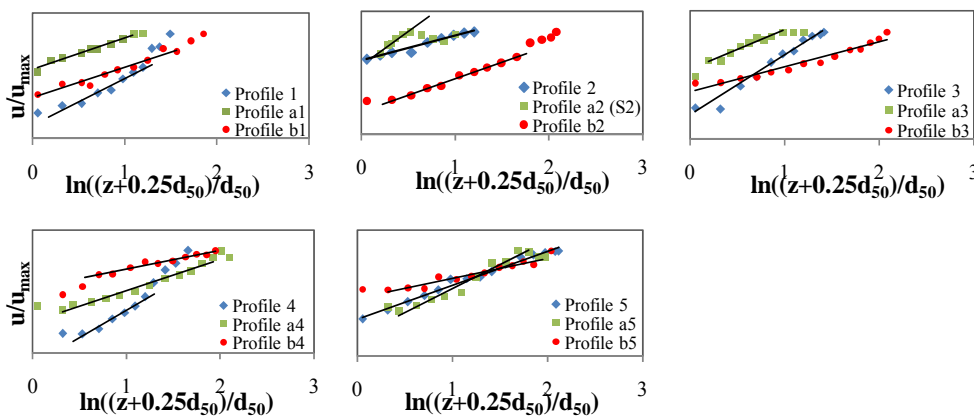
عدم وقوع شفاف نیمرخ S شکل در برخی نیمرخ‌ها (شکل ۱) ناشی از انتقال اندازه حرکت قابل توجه در ناحیه نزدیک بستر و توسعه لایه مرزی داخلی سه بعدی است.

در این مطالعه مقادیر سرعت متوسط با استفاده از روش دونقطه از معادله ۱ و مقادیر سرعت متوسط هر نیمرخ سرعت با استفاده از معادله ۲ (انتگرال تمام نقاط موجود در نیمرخ سرعت) محاسبه گردید. در شکل ۲ مشاهده می‌شود که مقادیر سرعت متوسط حاصل از این دو روش دارای اختلاف ناچیزی می‌باشند؛ به نحویکه با استفاده از معادله ۱۰ ($u_{TPM}=B_i$ و $u_{VP}=A_i$) درصد اختلاف نسبی سرعت متوسط حاصل از این دو روش $5/4$ (E) درصد برآورد گردید و این نشان دهنده دقت بسیار خوب روش دو نقطه در محاسبه سرعت متوسط نیمرخ سرعت است.

شکل ۳ برقراری قانون لگاریتمی در همه نیمرخ‌های سرعت برداشت شده در مقطع عرضی انتخابی و دو مقطع عرضی دیگر (a, b)



شکل ۲- مقایسه مقادیر سرعت متوسط محاسبه شده با استفاده از همه نقاط نیمرخ سرعت (u_{VP}) و روش دو نقطه (u_{TPM})



شکل ۳- برقراری قانون لگاریتمی در نیمرخ‌های سرعت مقطع عرضی انتخابی و دو مقطع عرضی دیگر (a, b)

ترتیب با استفاده از روش لگاریتمی، سهمی و لایه مرزی محاسبه شدند. افضل‌مهر و سین (۷) با مطالعه نیمرخ سرعت در بستر قلوه-سنگی دریافتند که مقادیر سرعت برشی محاسبه شده از دو روش سهمی و لایه مرزی هماهنگی خوبی با یکدیگر دارند. بر این اساس، با استفاده از مقادیر سرعت برشی محاسبه شده از روش سهمی، مقدار ثابت C در معادله ۶ برای بستر قلوه‌سنگی و در شرایط مورد مطالعه ۳/۶۴ محاسبه شد.

در شکل ۵ مقادیر سرعت برشی محاسبه شده از روش دونقطه با میانگین مقادیر سرعت برشی حاصل از روش سهمی و لایه مرزی مقایسه شد، از آنجا که روش دونقطه‌ای فقط از مقادیر سرعت جریان در عمق‌های ۰/۲h و ۰/۸h از سطح آب سرعت برشی را محاسبه می‌کند قانون لگاریتمی باید بخوبی در محدوده عمق نسبی $0.2 < z/h < 0.8$ برقرار باشد. در این شرایط اختلاف مقادیر سرعت برشی برآورد شده از روش دو نقطه و روش لگاریتمی ناچیز خواهد بود و روش دونقطه می‌تواند به خوبی برای پیش‌بینی مقاومت جریان و کاربرد در مدل‌های هیدرولیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در شکل ۵ حدود ۹۶ درصد از مقادیر محاسبه شده خطایی کمتر از ۳۰ درصد دارند و بر اساس معادله $10 = (u_{*PM} + u_{*BLM})/2 = A_i$ و $B_i = u_{*TPM}$ درصد اختلاف نسبی مقادیر سرعت برشی حاصل از آنها (E) ۱۴/۴ درصد محاسبه گردید. لازم به ذکر است در مطالعات مهندسی رودخانه معمولاً از حدود اطمینان ۵۰ و ۲۰۰ درصد برای بررسی مناسب بودن برازش بین مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده پارامترهای مقاومت جریان استفاده می‌گردد، به‌طور مثال وو و همکاران (۲۹)، لی و ژولین (۳۱) و افضل‌مهر و همکاران (۱) از چنین حدود اطمینانی استفاده کردند.

بنابراین پیروی یا عدم پیروی از توزیع لگاریتمی برای نیمرخ‌های سرعت جریان به دلیل تأثیر متقابل زبری عناصر و شکل آنها بر دینامیک جریان آشفته و چگونگی توسعه لایه مرزی آشفته در عمق جریان است و بر اساس غالب و مغلوب بودن هر یک از این عوامل روند توزیع این نیمرخ‌ها متفاوت خواهد بود (۷ و ۱۰).

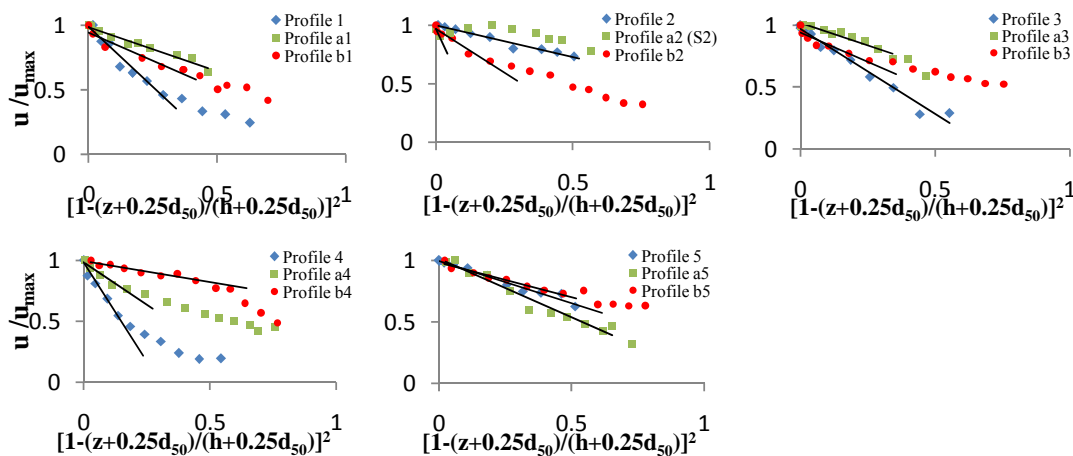
در نیمرخ‌های شماره ۱ و ۴ و پروفیل a2 - که همان پروفیل S2 در شکل ۱ (ب) است - انحراف نسبی از توزیع لگاریتمی در نزدیکی بستر و نزدیکی سطح آب ملاحظه می‌شود، این انحراف می‌تواند به دلیل وجود ذرات درشت (قلوه‌سنگ) در بستر و ایجاد ناحیه برخاستگی ناشی از آن باشد، همچنین در نزدیکی سطح آب به دلیل سرعت بالای جریان، وجود جریان‌های ثانویه، مجاورت با سطح هوا و اثر باد این انحراف می‌تواند ایجاد شود.

در شکل ۴ پیروی از قانون سهمی برای ناحیه خارجی جریان نیمرخ‌های برداشت شده در مقطع عرضی انتخابی و دو مقطع عرضی دیگر نمایش داده شده است. محققین متعددی با تحقیق و مطالعه صحرایی و آزمایشگاهی بیان کردند که در کانال‌های باز قانون سهمی در ناحیه خارجی نیمرخ‌های سرعت برقرار است (۳، ۱۸ و ۲۷).

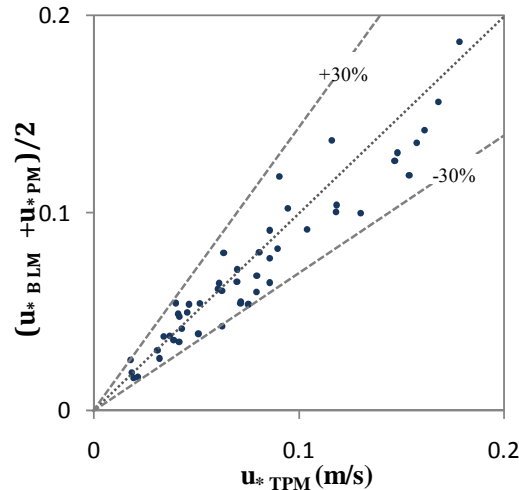
افضل‌مهر و همکاران (۶) در مطالعات آزمایشگاهی خود نشان دادند که توزیع سهمی در ناحیه خارجی نیمرخ‌های سرعتی که در بسترهای ثابت و متحرک شنی برداشت شده‌اند برقرار است، همچنین افضل‌مهر و سین (۷) در مطالعات خود بر روی رودخانه‌های با بستر قلوه‌سنگی بیان نمودند که نیمرخ‌های سرعت در لایه خارجی جریان از این قانون پیروی می‌کنند.

سرعت برشی

با استفاده از اندازه‌گیری‌های سرعت انجام شده برای هر نیمرخ سرعت و با استفاده از معادله‌های ۳، ۴ و ۶ مقادیر سرعت برشی به



شکل ۴- برقراری قانون سهمی در نیمرخ‌های سرعت مقطع عرضی انتخابی و دو مقطع عرضی دیگر (a, b)



شکل ۵- مقایسه مقادیر سرعت برشی محاسبه شده از روش دونقطه با میانگین مقادیر محاسبه شده آن با استفاده از روش سهمی و روش لایه مرزی

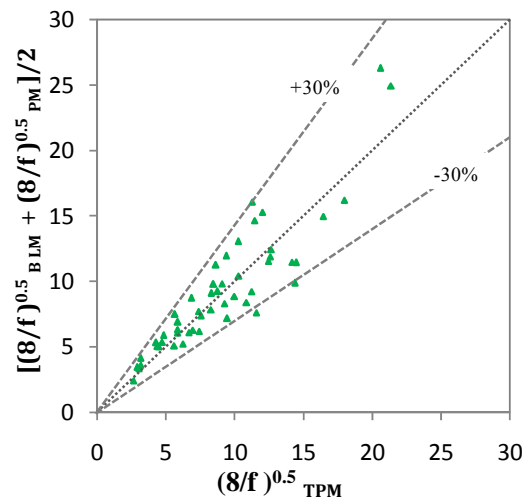
بر اساس معادله $10 \left(\frac{8}{f} \right)^{0.5}_{BLM} + \left(\frac{8}{f} \right)^{0.5}_{PM} = A_i$ و $\left(\frac{8}{f} \right)^{0.5}_{TPM} = B_i$ درصد اختلاف نسبی مقادیر محاسبه شده (E) کمتر از ۱۶ درصد می‌باشد. این مقدار خطا در مورد محاسبات مقاومت جریان در مقایسه با خطای ذکر شده در منابع علمی که تا حدود ۵۰۰ درصد است کاملاً قابل قبول می‌باشد (۴ و ۱۲).

در واقع دقت مناسب روش دو نقطه در برآورد سرعت متوسط و سرعت برشی نیمرخ سرعت در شرایط مورد مطالعه این امکان را فراهم می‌کند تا تابع مقاومت جریان با دقت مناسبی در شرایط پیچیده و دشوار مناطق کوهستانی پیش‌بینی و در مدل‌های هیدرولیکی بکار برده شود.

حدود اطمینان برای مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده به کیفیت داده‌های برداشت شده، متدولوژی حصول آنها و میزان معنی‌دار بودن ضرایب آماری حاصل بستگی دارد.

تابع مقاومت جریان

مقادیر تابع مقاومت جریان بر اساس معادله ۹ و کاربرد معادلات ۱ و ۳ برای روش دونقطه $\left(\frac{8}{f} \right)^{0.5}_{TPM}$ ، معادلات ۲ و ۴ برای روش سهمی $\left(\frac{8}{f} \right)^{0.5}_{PM}$ و معادلات ۲ و ۶ برای روش لایه مرزی $\left(\frac{8}{f} \right)^{0.5}_{BLM}$ محاسبه شدند. در شکل ۶ مقادیر $\left(\frac{8}{f} \right)^{0.5}_{TPM}$ با میانگین مقادیر $\left(\frac{8}{f} \right)^{0.5}_{BLM}$ و $\left(\frac{8}{f} \right)^{0.5}_{PM}$ مقایسه شد، نتایج نشان می‌دهند که حدود ۹۶ درصد داده‌ها خطایی کمتر از ۳۰ درصد دارند و



شکل ۶- مقایسه مقادیر تابع مقاومت جریان محاسبه شده با استفاده از نتایج روش دونقطه با میانگین مقادیر محاسبه شده این پارامتر با استفاده از نتایج روش سهمی و روش لایه مرزی

۳- نتایج به دست آمده از ۵۰ نیمرخ سرعت برداشت شده در بستر قلوه‌سنگی نشان داد که روش دو نقطه روشی بسیار مناسب و دقیق برای محاسبه سرعت متوسط نیمرخ سرعت می‌باشد و دقت آن در حدود ۹۵ درصد می‌باشد.

۴- نتایج روش دو نقطه برای ۵۰ نیمرخ سرعت، به‌منظور محاسبه سرعت برشی در بستر قلوه‌سنگی با نتایج حاصل از روش سهمی و لایه مرزی هماهنگی مناسبی دارا است. مقدار تابع مقاومت جریان محاسبه شده بر مبنای اطلاعات دو نقطه از نیمرخ سرعت به فواصل $0/2h$ و $0/8h$ از سطح آب با مقدار تابع مقاومت جریان حاصل از کاربرد تمام نقاط در نیمرخ سرعت دارای همخوانی قابل قبولی می‌باشد.

۵- نتایج این تحقیق می‌توانند به‌منظور برآورد مقاومت جریان، بهبود مدل‌سازی هیدرولیکی و بازسازی و اصلاح مشخصات اکولوژیک و مرفولوژیک در سایر رودخانه‌های مناطق کوهستانی کشور تکمیل داده شوند؛ پی آمد برآورد منطقی مقاومت جریان در مدل‌های هیدرولیکی محاسبه دبی جریان با دقت مناسب، مدیریت و برنامه‌ریزی بهتر در زمینه منابع آب خواهد بود.

افزایی مهر و همکاران (۱۰) برای محاسبه تابع مقاومت جریان در رودخانه‌های با بستر قلوه‌سنگی و تخته‌سنگی از روش دو نقطه استفاده کردند و دو رابطه توانی و نیمه لگاریتمی برای محاسبه تابع مقاومت جریان در این رودخانه‌ها ارائه نمودند.

علیرغم تحقیقات انجام شده در ارتباط با رودخانه‌های کوهستانی هنوز هم نیاز به انجام مطالعات بیشتر در زمینه ارزیابی کاربرد روش‌های مختلف، به‌منظور برآورد پارامترهای هیدرودینامیک جریان در این رودخانه‌ها به شدت احساس می‌شود.

نتیجه گیری

۱- در تحقیق حاضر هر دو شکل نیمرخ سرعت گزارش شده در منابع برای بستر قلوه‌سنگی (توزیع S شکل و توزیع لگاریتمی) مشاهده شدند.

۲- بر اساس نتایج این تحقیق تقریباً در تمام نیمرخ‌های سرعت قانون لگاریتمی در محدوده عمق نسبی (z/h) $0/2$ تا $0/8$ و قانون سهمی در $z/h > 0/6$ در مقاطع ده گانه رودخانه بهشت آباد با بستر قلوه‌سنگی برقرار است.

منابع

- 1- Afzalimehr H., Abdolhoseini M., and Singh V.J. 2010. Hydraulic geometry of stable channels. J. Hydrol. Eng., 15(10):859-864.
- 2- Afzalimehr H., and Ancil F. 1998. Estimation of gravel bed river flow resistance. J. Hydraul. Eng., 124(10):1054-1058.
- 3- Afzalimehr H., and Ancil F. 1999. Velocity distribution and shear velocity of decelerating flow over a gravel bed channel. J. Can. Civ. Eng., 26: 468-475.
- 4- Afzalimehr H., and Levesque B. 1999. Friction slope in depth average flow. J. Hydraul. Eng., ASCE, 125(5): 549-550.
- 5- Afzalimehr H., and Ancil F. 2000. Accelerating shear velocity in gravel bed channels. J. Hydrol. Sci., 45: 113-124.
- 6- Afzalimehr H., Dey S., and Rasulianfar P. 2007. Influence of decelerating flow on incipient motion of gravel bed streams. J. Sadhana, 32: 545-559.
- 7- Afzalimehr H., and Singh V.J. 2009. Influence of meandering on the estimation of velocity and shear velocity in cobble-bed channels. J. Hydrol. Eng., ASCE, 14:1126-1135.
- 8- Afzalimehr H., and Singh V.J., and Abdolhoseini M. 2009. Effect of non-uniformity of flow on hydraulic geometry relations. J. Hydrol. Eng., 14(9): 1028-1034.
- 9- Afzalimehr H. 2010. Effect of flow non-uniformity on velocity and turbulence intensities in flow over a cobble-bed. J. Hydrol. Processes, 24(3): 331-341.
- 10- Afzalimehr H., Gallichand J., Sui J., and Bagheri E. 2011. Field investigation on friction factor in mountainous cobble-bed and boulder-bed rivers. Inter. J. Sediment Res., 26(2): 210-221.
- 11- Bathurst J.C. 1988. Velocity profile in high-gradient, boulder-bed channel. Proc. Int. Conf. Fluv. Hydr., Budapest, Hungary.
- 12- Bathurst J.C. 2000. Environmental river flow hydraulic, in Applied fluvial geomorphology for river engineering and management. p. 69-94. In Thorne C.R., Hey R.D., and Newson M.D. (ed.). John Wiley and Sons, New York.
- 13- Bathurst J.C. 2002. At-a-site variation and minimum flow resistance for mountain rivers. J. Hydrol., 269: 11-26.
- 14- Clauser F.H. 1956. The turbulent boundary layer. J. Adv. Appl. Mech., 4: 1-51.
- 15- Ferro V. 1999. Evaluating friction factor for gravel bed channel with high boulder concentration. J. Hydraul. Eng., 125: 771-778.
- 16- Ferro V., and Baiamonte G. 1994. Flow velocity profiles in gravel-bed rivers. J. Hydraul. Eng., ASCE, 120(1): 60-80.

- 17- Herbich J.B., and Shulits S. 1964. Large-scale roughness in open channel flow. *J. Hydraul. Div.*, 90: 203–230.
- 18- Hinze J.O. 1975. *Turbulence* (2nd ed.). McGraw-Hill, New York. p. 279.
- 19- Jarrett R.D. 1990. Hydrologic and hydraulic research in mountain Rivers: in Molnar, Ludovit, ed., *Hydrology of Mountainous Areas*. IAHS, 190: 107-117.
- 20- Lawrence D.S.L. 1997. Macroscale surface roughness and frictional resistance in overland flow. *Earth Surface Proc. and Landforms*, 22: 365–382.
- 21- Lee J.S., and Julien P.Y. 2006. Downstream hydraulic geometry of alluvial channels. *J. Hydraul. Eng.*, 132(12): 1347-1352.
- 22- Lopez F., and Garcia M. 1996. *Turbulence Structure in Cobble-Bed Open Channel Flow*. Civ. Eng. Studies, ASCE, Hydraul Eng., Series No. 52.
- 23- Mirajgaoaker A.G., and Charlu K.L.N. 1963. Natural roughness effects in rigid open channels. *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, 89: 29–44.
- 24- Peterson D.F., and Mohanty P.K. 1960. Flumes studies of flow in steep, rough channels. *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, 86: 55–76.
- 25- Schlichting H., and Gersten K. 2000. *Boundary-Layer Theory*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. p.799.
- 26- Stone M.C., and Hotchkiss R. 2007. Turbulence descriptions in two cobble-bed river reaches. *J. Hydraul. Eng.*, 133: 1367-1378.
- 27- Tu H., Tsujimoto T., and Graf W.H. 1988. Velocity distribution in a gravel-bed flume. *Proc. 6th Congress of Asian and Pacific Division of IAHR*, Kyoto, Japan. 425–431.
- 28- Wolman M.G. 1954. A method of sampling coarse river bed material. *Transactions American Geophysical Union*, 35: 951–956.
- 29- Wu B., Moliars A., and Julien P.Y. 2004. Bed material load computations for nonuniform sediments. *J. Hydraul. Eng.*, 130(10): 1002-1012.
- 30- Yen B.C. 1991. Hydraulic resistance in open channels. In *channel flow resistance: Centennial of Maning's Formula*. In B.C. Yen. (ed.) Water Resources Pub. Highlands Ranch, Colo., 1-135.
- 31- Yen B.C. 2002. Open channel flow resistance. *J. Hydraul. Eng.*, 128(1): 20-39.



The Application of Two-point Method for Estimation of Flow Hydrodynamic Parameters in Mountainous Cobble-Bed Rivers

S.E. Bagheri^{1*} - H. Afzali Mehr² - E. Fazel Najaf Abadi³

Received:01-09-2012

Accepted:24-02-2013

Abstract

The study of mountainous rivers is recently considered by hydraulic researchers. Ten cross sections of a cobble-bed river, Behesht Abad, located in the central Iran were applied in this study. The distribution of velocity profile in cobble-bed and accuracy of two-point method to estimate the parameters of mean velocity and shear velocity were investigated and then the values of flow resistance were evaluated. Shear velocity was calculated by two-point method, and velocity profile and the results were compared by the parabolic and the boundary layer characteristics methods to predict flow resistance function. Results reveal that velocity profiles present S-shape and logarithm distributions. Also the values of mean velocity, shear velocity and flow resistance function calculated by two-point method can be presented with 94.6, 85.6 and 84 per cent accuracy, respectively. The results of this study can be extended to apply and to predict flow resistance for other mountainous rivers in Iran.

Keywords: Velocity distribution, Parabolic method, Boundary layer characteristics, Behesht Abad River, Flow resistance

1,2,3- Former MSc Student, Associate Professor and PhD Student of Irrigation and Drainage Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Respectively
(* - Corresponding Author Email: EhsanBagheri4201@gmail.com)