



تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۳ | شماره ۳ | خرداد ۱۴۰۱ (ص ۵۲۶-۵۱۳)

[DOI:https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2022.338910.669206](https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2022.338910.669206)

(مقاله علمی - پژوهشی)

Investigating Velocity Profiles in Rivers with Submerged Vegetation Patch in the Bed and Emergent in the Bank (Case Study: Fars and Bushehr Rivers)

MASOUD NADERI^{1*}, HOSEIN AFZALIMEHR¹, AYOUB DEHGHAN², ALIAKBAR AMINI¹

1. Department of Water and Environment, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

2. Department of Water and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

(Received: Feb. 10, 2022- Revised: March. 15, 2022- Accepted: April. 9, 2022)

ABSTRACT

Understanding how velocity profile changes in vegetated rivers are important in accurately estimating discharge, shear velocity, and flow resistance. Therefore, in this study, velocity profiles of four direct reaches of mountain rivers with vegetation patches in Fars and Bushehr provinces have been investigated. Data collection in this study started in March 2021 and ended in May 2021. Measurements in this study include surveying, velocity measurement, and bed sampling. Investigation of 71 velocity profiles measured in the selected reaches showed that despite the high aspect ratio ($35 < \frac{w}{h} < 117$) in the studied reaches, in 39% of the profiles, the Dip phenomenon occurred, indicating that the aspect ratio is not the only factor influencing the Dip phenomenon. In addition, The Dip parameter was higher in profiles near to vegetastion pacthes. Also, by investigating the logarithmic law in velocity profiles, it was found that the logarithmic law is well applicable in reaches with vegetation patches, and the upper limit of the validity of the logarithmic law up to 58% of the flow depth was obtained. This value has been reported in laboratories for velocity data up to 20% of flow depth.

Keywords: Dip Phenomenon, Logarithmic Law, Submerged Vegetation Patch.

بررسی نیمرخ‌های سرعت در رودخانه‌های دارای توده گیاهی مستغرق در بستر و نیمه‌مستغرق در ساحل (مطالعه موردی: رودخانه‌های استان فارس و بوشهر)

مسعود نادری^{۱*}، حسین افضل‌ی مهر^۱، ایوب دهقان^۲، علی‌اکبر امینی^۱

۱. گروه آب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
 ۲. گروه آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۱ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۲۰)

چکیده

آگاهی از چگونگی تغییرات نیمرخ سرعت در رودخانه‌های دارای توده گیاهی در برآورد دقیق دبی جریان، سرعت برشی و مقاومت جریان اهمیت قابل توجهی دارد. از این رو در این پژوهش به بررسی نیمرخ‌های سرعت در چهار بازه تقریباً مستقیم از رودخانه‌های کوهستانی دارای توده گیاهی از استان‌های فارس و بوشهر پرداخته شده است. داده‌برداری در این پژوهش از اسفند ۱۳۹۹ شروع و در خرداد ۱۴۰۰ به پایان رسید. اندازه‌گیری‌ها در این پژوهش شامل نقشه‌برداری، اندازه‌گیری سرعت و داده‌برداری از ذرات بستر می‌باشد. با بررسی ۷۱ نیمرخ سرعت اندازه‌گیری شده در بازه‌های انتخابی، نشان داده شد که علی‌رغم بالا بودن نسبت ظرافت ($35 < \frac{w}{h} < 117$) در بازه‌های مورد مطالعه، در ۳۹ درصد نیمرخ‌ها پدیده پایین‌افتادگی جریان رخ داده است که این موضوع نشان می‌دهد که نسبت ظرافت تنها عامل تأثیرگذار بر پدیده پایین‌افتادگی جریان نمی‌باشد. علاوه بر این در نیمرخ‌های نزدیک به توده گیاهی مقدار پارامتر Dip بزرگ‌تر به دست آمد. همچنین با بررسی قانون لگاریتمی در نیمرخ‌های سرعت مشخص شد که قانون لگاریتمی به خوبی در بازه‌های دارای توده گیاهی قابل کاربرد می‌باشد و مقدار حد بالای اعتبار قانون لگاریتمی تا ۵۸ درصد عمق جریان به دست آمد. این مقدار در آزمایشگاه‌ها برای داده‌های سرعت تا ۲۰ درصد عمق نزدیک بستر گزارش شده است.

واژه‌های کلیدی: پدیده پایین‌افتادگی جریان، توده گیاهی مستغرق، قانون لگاریتمی.

مقدمه

بالا بردن ظرفیت انتقال جریان، پوشش گیاهی موجود در مقابل جریان را از بین می‌برده‌اند؛ در حالی که امروزه مزایای آن بر کسی پوشیده نیست (Cotton *et al.*, 2006; Kothyari *et al.*, 2009; Lei & Nepf, 2016).

توده گیاهی مستغرق^۲ به صورت توده‌های پراکنده در اغلب رودخانه‌های ایران مشاهده می‌شود. دانش بشر هنوز در مورد میزان تغییرات نیمرخ سرعت در حضور توده گیاهی مستغرق در رودخانه‌ها بسیار اندک است. از آنجاکه هدف نهایی مطالعات مهندسی رودخانه بررسی شرایط واقعی در طبیعت است و نه شرایط خاص و کنترل شده در آزمایشگاه بنابراین ضروری است تا نوع شکل غالب پوشش گیاهی در چند بازه از رودخانه شناسایی و اندازه‌گیری نیمرخ سرعت، نقشه‌برداری و دانه‌بندی ذرات رسوب بستر با جزئیات لازم بررسی شوند.

درک چگونگی تغییرات نیمرخ سرعت در رودخانه‌های دارای توده گیاهی در برآورد دقیق پارامترهای هیدرولیکی حائز

توده گیاهی^۱ در بستر رودخانه‌ها پارامترهای اصلی جریان مانند سرعت جریان و تنش برشی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و موجب تغییر ساختار جریان می‌شود. توده‌های گیاهی به طور گسترده در رودخانه‌ها با طول و عرض محدود قابل مشاهده است که می‌تواند بر سیستم رودخانه‌ای تأثیرگذار باشد؛ به طوری که حضور آن در مسیر جریان می‌تواند باعث تغییر در نیمرخ سرعت شود. این توده‌ها به دلیل نفوذپذیر بودن، با سایر موانع مانند پایه پل متفاوت هستند (Wang *et al.*, 2015). تحقیقات در زمینه تعامل توده گیاهی مصنوعی و جریان در کانال‌های آزمایشگاهی در منابع به وفور یافت می‌شود (به طور مثال Pasquino & Gualtieri, 2017; Afzalimehr *et al.*, 2019; Muhammad *et al.*, 2021; Derakhshan & Afzalimehr, 2021)؛ در حالی که تحقیقات میدانی در این زمینه اندک است (به عنوان مثال Naderi *et al.*, 2021). در گذشته تصور می‌شد که پوشش گیاهی تنها باعث افزایش مقاومت در برابر جریان می‌شود؛ به همین دلیل به منظور

برای تعیین سرعت برشی جریان با استفاده از قانون لگاریتمی ابتدا باید محدوده اعتبار این قانون محاسبه شود. برای تعیین محدوده اعتبار قانون لگاریتمی بر اساس منابع از شاخص ضریب تعیین (R^2) استفاده می‌شود. عمقی که دارای بیشترین ضریب تعیین می‌باشد، به‌عنوان حد بالای محدوده قانون لگاریتمی در نظر گرفته می‌شود که در این حالت پس از رگرسیون‌گیری بین مقادیر u و $\ln\left(\frac{z+0.25d_{84}}{d_{84}}\right)$ و محاسبه شیب خط رگرسیونی (m) و عرض از مبدأ (b)، برای محاسبه سرعت برشی و پارامتر انتگرال‌گیری از رابطه (۴) و رابطه (۵) استفاده می‌شود.

$$u_* = mk \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$Br = \frac{b}{u_*} \quad (\text{رابطه ۵})$$

از جمله پارامترهای تأثیرگذار بر دامنه اعتبار قانون لگاریتمی و همچنین محل وقوع سرعت بیشینه در نیمرخ سرعت، نسبت ظرافت $^1\left(\frac{W}{h}\right)$ می‌باشد که W عرض مقطع و h عمق جریان می‌باشد.

با توجه به ضرورت شناخت تغییرات نیمرخ سرعت در حضور توده‌های گیاهی، هدف از این پژوهش بررسی اعتبار قانون لگاریتمی، دامنه اعتبار این قانون، نحوه تغییرات پارامتر انتگرال‌گیری و همچنین بررسی پدیده پایین‌افتادگی جریان در بازه‌های دارای توده گیاهی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مناطق مورد مطالعه

عوامل متعددی در انتخاب یک بازه مناسب در رودخانه مدنظر می‌باشند که مهم‌ترین آن‌ها ایمنی پژوهشگر و اهداف پژوهش می‌باشد. بر این اساس سرعت جریان و عمق متوسط بازه انتخابی باید در حدی باشد که داده‌برداری با خطا و نوسانات کم صورت گیرد و ایمنی پژوهشگر به خطر نیفتد. با توجه به نکات گفته‌شده در نهایت ۲ بازه از رودخانه شاپور (استان فارس)، ۱ بازه از رودخانه فهلیان (استان فارس) و ۱ بازه از رودخانه دالکی (استان بوشهر) انتخاب شد. هر سه رودخانه موردنظر از نوع غیر فصلی می‌باشند. بازه‌های انتخابی دارای مسیر مستقیم و بدون حضور موانع فیزیکی مانند تخت سنگ بودند. زمان داده‌برداری از اواخر اسفند ۱۳۹۹ شروع و در اوایل خرداد ۱۴۰۰ به پایان رسید. در جدول (۱) خلاصه‌ای از اطلاعات کلی بازه‌های انتخابی ارائه شده است. با توجه به این جدول بیشترین عرض مقطع و عمق جریان را به ترتیب بازه شاپور ۱ و شاپور ۲ دارد و بزرگ‌ترین دبی جریان نیز

اهمیت است. نیمرخ سرعت در ناحیه داخلی که لزجت غالب است از قانون لگاریتمی پیروی می‌کند و به‌صورت رابطه (۱) می‌باشد (Clauser, 1954).

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{z}{k_s}\right) + Br \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن z فاصله از بستر، k_s ارتفاع زبری معادل، k ثابت ون‌کارمن و Br نیز پارامتر انتگرال‌گیری می‌باشد. روش قانون لگاریتمی برای تعیین سرعت برشی از جمله معتبرترین روش‌ها می‌باشد. در مورد این روش نکات زیر حائز اهمیت می‌باشد:

Emadzadeh et al. (2010); Fazlollahi and _1

Afzalimehr (2013) نشان دادند که ثابت ون‌کارمن در شرایط انتقال رسوب کمتر از ۰/۴ و در حضور شکل بستر بیشتر از ۰/۴ می‌باشد و در حالت عدم حضور این موارد برابر با ۰/۴ می‌باشد. در این پژوهش نیز از مقدار ۰/۴ استفاده شده است.

_2 محققین مختلف مقادیر مختلفی را برای k_s ارائه کرده‌اند؛ به‌عنوان مثال Song and Chiew (2001) مقدار $0.25d_{50}$ ، López et al. (2009) مقدار $2.4d_{90}$ را ارائه کرده‌اند. در این پژوهش برای نشان دادن تأثیر بیشتر ذرات بزرگ‌تر بر روی زبری سطح در رودخانه‌های شنی قلوه‌سنگی از مقدار پیشنهادشده توسط López et al. (2009) که در آن قطر مشخصه d_{90} وجود دارد، استفاده شده است.

_3 در رودخانه‌هایی که دارای بستر درشت‌دانه می‌باشند، ممکن است بین ذرات درشت‌دانه و پایین‌تر از نقاط اندازه‌گیری شده جریان وجود داشته باشد؛ بنابراین در عمق صفر، جریان دارای سرعت می‌باشد و نمی‌توان آن را صفر در نظر گرفت. بنابراین برای رفع این مشکل از مفهومی به نام خط فرضی استفاده می‌شود. خط فرضی خطی است که سرعت جریان روی آن برابر صفر است؛ بنابراین رابطه (۲) مطرح می‌شود.

$$z = z_{meas} + \alpha d_p \quad (\text{رابطه ۲})$$

Song and Chiew (2001) برای α مقدار ۰/۲۵ را پیشنهاد داده‌اند که در این پژوهش نیز این مقدار در نظر گرفته شده است. همچنین برای p نیز مقادیر مختلفی توسط محققین مختلف ارائه شده است. معمولاً برای نشان دادن تأثیر بیشتر ذرات بزرگ‌تر بر روی زبری سطح در رودخانه‌های شنی و قلوه‌سنگی از مقدار d_{84} استفاده می‌شود. بر اساس تعریف خط فرضی رابطه نهایی روش قانون لگاریتمی که در ناحیه داخلی جریان معتبر است به‌صورت رابطه (۳) می‌باشد.

$$u = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{z + 0.25d_{84}}{d_{84}}\right) + Bru_* \quad (\text{رابطه ۳})$$

مقدار شیب طولی در این محدوده می‌باشد. با توجه به اینکه طول بازه‌های دارای پوشش گیاهی در بازه‌های انتخابی محدود بودند؛ بنابراین امکان در نظر گرفتن طول بازه‌های بیشتر وجود نداشت.

متعلق به بازه شاپور ۱ است. (2005) Brierley and Fryirs بیان کردند که مقدار شیب طولی برای رودخانه‌های شنی و قلوه‌سنگی در محدوده ۰/۰۵ تا ۰/۵ درصد قرار دارد که در این پژوهش نیز

جدول ۱_ اطلاعات کلی از بازه‌های انتخابی

نام بازه انتخابی	طول جغرافیا	عرض جغرافیا	طول بازه (m)	عرض متوسط (m)	عمق هیدرولیکی متوسط (m)	شیب طولی (%)	دبی جریان (m ³ /s)
شاپور ۱	۲۹°۳۵'E	۵۱°۲۶'N	۴۳	۳۰/۷۴	۰/۳۴	۰/۲۵	۳/۲۵
شاپور ۲	۲۹°۳۵'E	۵۱°۲۶'N	۳۰	۲۴/۵۸	۰/۴۰	۰/۲۱	۳/۰۰
فهلین	۳۰°۱۴'E	۵۱°۲۷'N	۳۵	۱۷/۵۶	۰/۳۰	۰/۱۶	۰/۸۶
دالکی	۲۹°۱۶'E	۵۳°۰۸'N	۲۸	۱۰/۱۵	۰/۲۴	۰/۲۵	۱/۳۹

۱۲ و ۹ سانتی‌متر به دست آمد. شکل (۱) نمونه‌ای از توده گیاهی موجود در بازه‌های انتخابی را نشان می‌دهد. در جدول (۲) مشخصات توده گیاهی موجود در بازه‌ها ارائه شده است. در این جدول B^X ، B^A ، B^V و $\frac{h_p}{h}$ به ترتیب میانگین ضریب انسداد مقطعی^۲ (سطحی از مقطع که توسط توده گیاهی اشغال شده است)، ضریب انسداد سطحی^۳ (سطحی از بازه مورد مطالعه که توسط توده گیاهی اشغال شده است)، ضریب انسداد حجمی^۴ (نسبت حجم پوشانده شده توسط توده گیاهی به حجم کانال) و متوسط استغراق نسبی توده گیاهی (نسبت ارتفاع توده گیاهی به ارتفاع جریان) می‌باشد.

توده گیاهی در بازه‌های انتخابی

۴ بازه مورد مطالعه با مقادیر متفاوت از توده گیاهی انتخاب شدند. بازه‌های شاپور ۱ و شاپور ۲ در ساحل چپ خود (با نگاه به پایین-دست) دارای توده گیاهی از نوع نیمه‌مستغرق^۱ و ساحل راست آن‌ها فاقد توده گیاهی می‌باشند و در بستر این دو بازه توده گیاهی از نوع مستغرق با ابعاد مختلف و به صورت پراکنده وجود دارد؛ در حالی که بازه‌های انتخابی در رودخانه‌های فهلین و دالکی دارای توده گیاهی مستغرق در بستر و توده گیاهی نیمه‌مستغرق در ساحل راست خود می‌باشند. متوسط ارتفاع توده گیاهی مستغرق در بازه‌های شاپور ۱، شاپور ۲، فهلین و دالکی به ترتیب ۱۵، ۱۸،



شکل ۱- برخی از توده‌های گیاهی موجود در بازه‌های انتخابی

جدول ۲- مشخصات توده گیاهی موجود در بازه‌های انتخابی

نام بازه	B^x	B^A	B^V	$\frac{h_p}{h}$
شاپور ۱	۰/۰۹۲	۰/۱۲۱	۰/۰۶۹	۰/۶۵
شاپور ۲	۰/۱۱۷	۰/۰۹۸	۰/۰۴۹	۰/۴۱
فهلین	۰/۰۷۶	۰/۰۴۸	۰/۰۵۲	۰/۴۴
دالکی	۰/۱۴۴	۰/۱۳۵	۰/۰۷۹	۰/۴۰

داده‌های اندازه‌گیری شده

مجموعه داده‌های اندازه‌گیری در این پژوهش به ترتیب شامل داده‌های سرعت، عملیات نقشه‌برداری و داده‌برداری از ذرات بستر می‌باشد. ترتیب اندازه‌گیری داده‌ها در مهندسی رودخانه اهمیت ویژه‌ای دارد. به‌طور مثال اگر داده‌برداری از بستر رودخانه قبل از نقشه‌برداری انجام شود، تغییرات تراز بستر رودخانه باعث می‌شود که داده‌های حاصل از عملیات نقشه‌برداری دارای دقت کافی نباشد.

سرعت‌سنج‌های مختلف برای اندازه‌گیری سرعت جریان مورد استفاده قرار می‌گیرد که متداول‌ترین آن برای اندازه‌گیری سرعت نقطه‌ای در مطالعات میدانی سرعت‌سنج مولینه می‌باشد، که در این پژوهش نیز از این سرعت‌سنج استفاده شد. برای کاهش خطا در اندازه‌گیری سرعت در این پژوهش مدت‌زمان اندازه‌گیری ۲۰ ثانیه و تعداد تکرار در اندازه‌گیری سرعت ۳ تا ۵ بار در نظر

گرفته شد. در این پژوهش در هر بازه ۴ تا ۵ مقطع عرضی و در هر مقطع ۳ تا ۴ نیمرخ سرعت که یکی از این نیمرخ‌ها در وسط مقطع قرار داشت، مورد اندازه‌گیری قرار گرفته شد. همچنین در هر نیمرخ سرعت بر اساس عمق جریان ۱۶ تا ۲۲ نقطه (به‌طور متوسط ۱۹ نقطه) در نظر گرفته شد. در نیمرخ‌های سرعت تراکم داده‌برداری نزدیک بستر (لایه داخلی) بیشتر در نظر گرفته شد؛ به‌گونه‌ای که فاصله‌ی بین نقاط اندازه‌گیری ۰/۵ سانتی‌متر می‌باشد. برای محاسبه دقیق‌تر دبی جریان در هر مقطع عرضی، سرعت جریان در فاصله ۰/۲ و ۰/۸ عمق جریان از کف بستر با فواصل ۱ متری در هر مقطع اندازه‌گیری شد. به‌عنوان مثال برای مقطع اول از بازه شاپور ۱ که عرضی برابر با ۲۸/۴ متر داشت ۴ نیمرخ سرعت با میانگین ۱۹ نقطه در هر نیمرخ و ۲۸ نیمرخ دونقطه‌ای سرعت اندازه‌گیری شد. شکل (۲) نحوه برداشت سرعت در بازه‌های انتخابی را نشان می‌دهد.



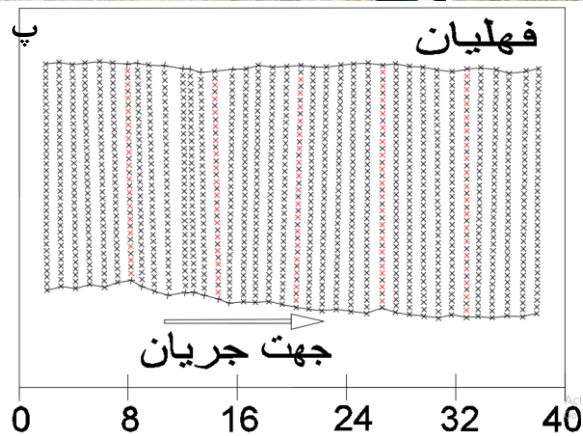
شکل ۲- نحوه برداشت سرعت در بازه‌های انتخابی

پژوهش شامل برداشت طول، عرض و ارتفاع (x , y و z) نقاط مختلف بازه‌های موردنظر با فواصل مشخص می‌باشد. برای انجام این کار ابتدا دوربین در جایی مستقر شد که به همه نقاط بازه مورد مطالعه دید داشته باشد. سپس عملیات توجیه کردن دوربین انجام شد. برای انجام نقشه‌برداری، بازه‌های انتخابی از طریق طناب‌هایی با ابعاد ۱ متر در راستای طولی و ۰/۵ متر در راستای

به‌طور کلی شکل مقطع عرضی در رودخانه‌ها به عواملی مانند دبی جریان، شیب طولی، رسوب ورودی، جنس مصالح بستر و کناره و شرایط پوشش گیاهی موجود در بستر بستگی دارد. به‌منظور محاسبه مساحت و پیرامون مرطوب مقاطع عرضی، شیب طولی و رسم پلان بازه‌های مورد مطالعه در این پژوهش از دوربین توتال استیشن لایکا مدل TS02 استفاده شد. نقشه‌برداری در این

نشان‌دهنده مکان‌هایی است که در آن نقشه‌برداری انجام شده است و در نقاط قرمز رنگ علاوه بر نقشه‌برداری، نیمرخ سرعت نیز اندازه‌گیری شده است. در این پژوهش در مجموع بیش از ۶۰۰۰ نقطه نقشه‌برداری شده است.

عرضی رودخانه شبکه‌بندی شد و سپس نقشه‌برداری انجام شد. شکل (۳_الف) و (۳_ب) نحوه نقشه‌برداری بازه‌های مورد مطالعه و شکل (۳_پ) پلان بازه فهلیان به همراه موقعیت نیمرخ‌های اندازه‌گیری شده (شامل نیمرخ‌های دونقطه‌ای و ۱۹ نقطه‌ای) و نقاط نقشه‌برداری شده را نشان می‌دهد. نقاط مشکی رنگ



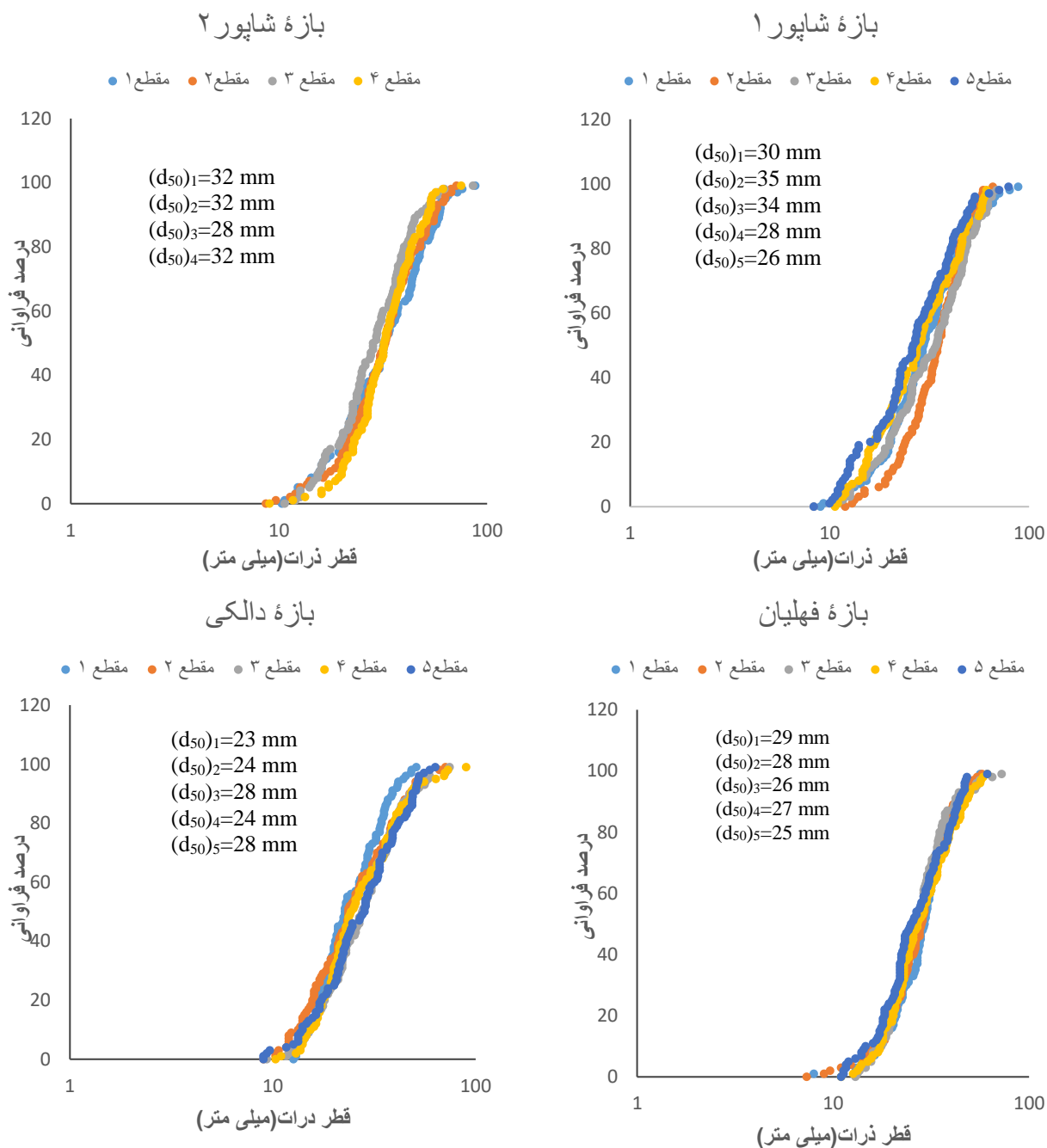
شکل ۳- الف و ب) نحوه نقشه‌برداری بازه‌های مورد مطالعه؛ پ) پلان بازه فهلیان به همراه موقعیت نیمرخ‌های اندازه‌گیری شده و نقاط نقشه‌برداری شده برای بازه فهلیان

برای بازه‌های شاپور ۱، شاپور ۲، فهلیان و دالکی به ترتیب $۸۸ < d(mm) < ۸$ ، $۸۸ < d(mm) < ۹$ ، $۷۳ < d(mm) < ۷$ و $۹۰ < d(mm) < ۹$ می‌باشد که با توجه به این محدوده قطر ذرات، مشخص است که بازه‌های انتخابی از نوع شنی و قلوه‌سنگی (درشت‌دانه) می‌باشند و دامنه تغییرات قطر ذرات بستر آن‌ها تقریباً مشابه است (Brierley and Fryirs, 2005).

نتایج و بحث

پارامترهای هیدرولیکی جریان در بازه‌های مورد مطالعه پارامترهای هیدرولیکی جریان در چهار بازه انتخابی از بخش رودخانه در جدول (۳) ارائه شده است.

در رودخانه‌های درشت‌دانه معتبرترین روش برای دانه‌بندی بستر مربوط به ولمن می‌باشد (Wolman, 1954). در این پژوهش نیز با استفاده از این روش دانه‌بندی بستر انجام شده است. به این صورت که در هر مقطع در محورهای مرکزی، ساحل چپ و ساحل راست تعداد ۱۰۰ ذره به صورت سطحی و زیرسطحی به صورت تصادفی برداشت شد و سپس با اندازه‌گیری طول، عرض و ضخامت هر ذره توسط کولیس، مقدار متوسط این ۳ مقدار به عنوان قطر آن ذره در نظر گرفته شد. پس از محاسبه قطر ذرات، این اندازه‌ها به صورت صعودی در نرم‌افزار Excel مرتب شدند و نمودار دانه‌بندی آن‌ها رسم شد. سپس قطر مشخصه d_{85} مورد نیاز در این پژوهش به دست آمد. در شکل (۴) نمودار دانه‌بندی و قطر میانه ذرات (d_{50}) در مقاطع اندازه‌گیری شده نشان داده شده است.



شکل ۴- منحنی دانه‌بندی بستر و مقدار قطر میانه ذرات (d_{50}) در مقاطع مختلف از ۴ بازۀ انتخابی

مقاطع این عدد کوچک‌تر از ۱ می‌باشد؛ بنابراین جریان در هر ۴ بازۀ مورد مطالعه به صورت زیر بحرانی می‌باشد. بررسی بیش از ۱۰۰ بازه در رودخانه‌های ایران حاکی از آن بوده که محدوده عدد فرود در رودخانه‌های کوهستانی در محدوده ۰,۰۸ تا ۰,۵۶ می‌باشد که در این مطالعه نیز این محدوده تأیید شد (Naderi et al., 2021). همچنین مقادیر عدد رینولدز در مقاطع نشان‌دهنده جریان آشفته در هر ۴ بازۀ انتخابی می‌باشد؛ بنابراین جریان در هر ۴ بازه از نوع آشفته زیر بحرانی می‌باشد.

تفاوت در مقدار دبی جریان در مقاطع مختلف هر بازه به دلیل برداشت آب برای زمین‌های کشاورزی و آبیاری شهری در پایین دست بازه‌های انتخابی می‌باشد. با میانگین‌گیری از دبی‌های محاسبه شده در هر مقطع، مشخص شد که بیشترین دبی و کمترین دبی جریان به ترتیب متعلق به بازه‌های شاپور ۱ ($3.28 \frac{m^3}{s}$) و فهلیان ($0.86 \frac{m^3}{s}$) می‌باشد. همچنین تفاوت بین مقادیر سرعت در مقاطع مختلف هر بازه نشان می‌دهد که جریان از نوع غیریکنواخت می‌باشد.

عدد فرود ارائه شده در جدول (۳) نشان می‌دهد که در همه

جدول ۳- پارامترهای هیدرولیکی جریان در ۴ بازه انتخابی

Fr	Re	U ($\frac{m}{s}$)	Q ($\frac{m^3}{s}$)	شماره مقطع	نام بازه
۰/۱۵	۴۸۴۵۲۴	۰/۲۹۸	۳/۴۴	۱	شاپور ۱
۰/۱۴	۴۲۵۰۹۶	۰/۲۷۷	۳/۰۸	۲	
۰/۱۷	۴۰۵۳۰۸	۰/۳۰۸	۳/۲۴	۳	
۰/۲۴	۴۵۶۳۴۲	۰/۴۰۲	۳/۷۶	۴	
۰/۲۰	۳۷۰۶۱۱	۰/۳۳۴	۲/۹۰	۵	
۰/۱۶	۴۳۱۸۴۶	۰/۳۰۰	۲/۸۱	۱	شاپور ۲
۰/۱۷	۵۱۲۷۷۷	۰/۳۳۵	۳/۲۴	۲	
۰/۱۵	۴۸۶۶۶۷	۰/۲۹۷	۲/۹۲	۳	
۰/۱۵	۵۴۲۱۲۳	۰/۳۱۰	۳/۱۲	۴	
۰/۱۱	۲۲۵۳۳۹	۰/۱۹۱	۰/۹۳	۱	فهلپیان
۰/۰۹	۲۰۴۳۱۸	۰/۱۶۵	۰/۸۷	۲	
۰/۰۸	۱۷۶۸۲۳	۰/۱۴۳	۰/۷۹	۳	
۰/۰۸	۱۸۶۷۳۴	۰/۱۵۱	۰/۸۴	۴	
۰/۱۰	۱۹۲۱۸۴	۰/۱۶۸	۰/۸۸	۵	
۰/۲۶	۵۲۵۵۴۶	۰/۴۴۱	۱/۳۸	۱	دالکی
۰/۳۶	۵۶۸۷۰۲	۰/۵۶۹	۱/۴۹	۲	
۰/۴۸	۵۷۶۱۰۴	۰/۶۸۹	۱/۳۳	۳	
۰/۲۹	۴۴۴۰۰۰	۰/۴۴۶	۱/۳۷	۴	
۰/۴۷	۵۲۹۳۹۷	۰/۶۶۵	۱/۳۹	۵	

بالا است، انتظار می‌رود که سرعت بیشینه بر روی سطح آب اتفاق افتد، اما نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که در ۲۸ نیمرخ از ۷۱ نیمرخ اندازه‌گیری شده (۳۹ درصد نیمرخ‌ها) در بازه‌های رودخانه سرعت بیشینه در زیر سطح آب اتفاق افتاده است که سهم بازه شاپور ۱، شاپور ۲، فهلپیان و دالکی به ترتیب ۸، ۵، ۷ و ۸ نیمرخ می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که نسبت ظرافت تنها عامل تأثیرگذار بر پایین‌افتادگی جریان نیست. (mohammadzade miyab (2014) با اندازه‌گیری نیمرخ سرعت در رودخانه بابلرود مشاهده کرد که در ۶۶ درصد نیمرخ‌ها حداکثر سرعت بر روی سطح آب رخ داده است و در ۴۴ درصد مابقی که تمام آن‌ها شامل نیمرخ‌های کنار پوشش و نزدیک سواحل بودند، پدیده پایین‌افتادگی جریان اتفاق افتاده است. در شکل (۵) و شکل (۶) برخی از نیمرخ‌هایی که در آن‌ها پدیده پایین‌افتادگی جریان رخ داده است، آورده شده است. در این پژوهش نحوه نام‌گذاری نیمرخ‌ها به صورت (فاصله از ساحل راست_ شماره مقطع_ نام بازه) می‌باشد. به عنوان مثال Sh1_2_14.2 نشان‌دهنده نیمرخ موجود در بازه شاپور ۱ در مقطع شماره ۲ با فاصله ۱۴/۲ متر از ساحل راست می‌باشد.

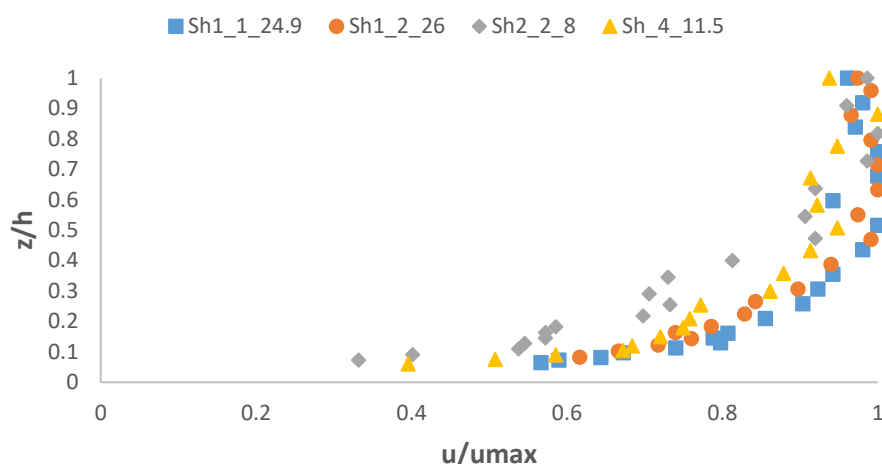
محل وقوع سرعت بیشینه در نیمرخ‌های سرعت

(Gibson (1909) با بررسی نیمرخ‌های سرعت نشان داد که در نسبت ظرافت‌های پایین ($\frac{W}{h} < 5$) سرعت بیشینه در زیر سطح آب رخ می‌دهد که دلیل آن را تأثیر بالای جریان‌های ثانویه در نسبت ظرافت‌های پایین دانست و بیان نمود که در نسبت ظرافت‌های بالا تأثیر جریان‌های ثانویه کاهش می‌یابد. در رابطه با محل وقوع سرعت بیشینه، پارامتری به نام Dip تعریف می‌شود که میزان پایین‌افتادگی جریان در نیمرخ سرعت را نشان می‌دهد و به صورت رابطه (۷) تعریف می‌شود (Chow, 1959).

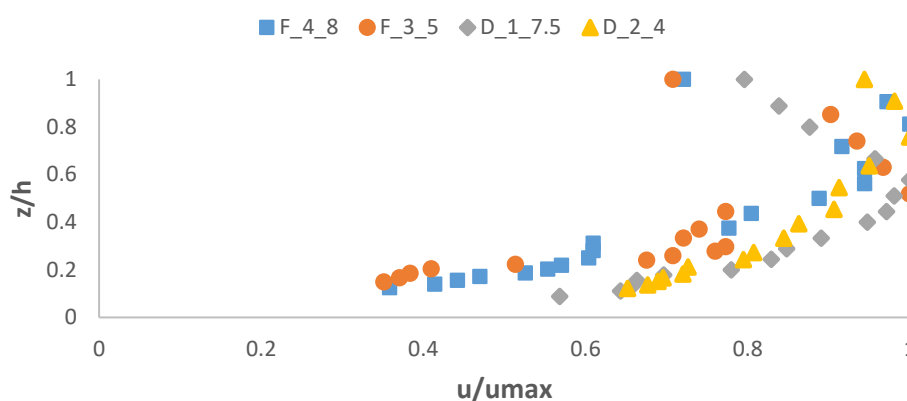
$$Dip = 1 - \left(\frac{Z}{h}\right)u_{max} \quad (\text{رابطه ۷})$$

در رابطه بالا Z عمقی است که در آن سرعت بیشینه می‌شود، h عمق جریان و $\left(\frac{Z}{h}\right)u_{max}$ عمق بی‌بعدی است که به ازای آن سرعت بیشینه می‌شود. اگر سرعت بیشینه روی سطح آب اتفاق افتد مقدار پارامتر Dip برابر با صفر است و هر چه سرعت بیشینه به بستر نزدیک شود این پارامتر به عدد یک نزدیک‌تر می‌شود. در این پژوهش برای تعیین محل وقوع سرعت بیشینه در نیمرخ سرعت، مقادیر $\left(\frac{u}{u_{max}}\right)$ در مقابل $\left(\frac{Z}{h}\right)$ برای هر نیمرخ رسم شد.

با توجه به اینکه در بازه‌های انتخابی مقدار نسبت ظرافت



شکل ۵- نمونه‌ای از نیمرخ‌های سرعت در بازه‌های شاپور ۱ و شاپور ۲ که در آن‌ها پایین‌افتادگی جریان رخ داده است



شکل ۶- نمونه‌ای از نیمرخ‌های سرعت در بازه‌های فهلیان و دالکی که در آن‌ها پایین‌افتادگی جریان رخ داده است

مقادیر پارامتر Dip در نیمرخ‌هایی که سرعت بیشینه در زیر سطح آب رخ داده است، در جدول (۴) آورده شده است. در این جدول نیمرخ‌هایی که در محور مرکزی قرار دارند با حروف برجسته (bold) نشان داده شده است.

جدول ۴- مقدار پارامتر Dip در ۴ بازه انتخابی از بخش رودخانه‌ای در نیمرخ‌هایی که پایین‌افتادگی جریان رخ داده

Dip	$\frac{w}{h}$	$(\frac{z}{h})_{u_{max}}$	z (m)	h (m)	نام نیمرخ	Dip	$\frac{w}{h}$	$(\frac{z}{h})_{u_{max}}$	z (m)	h (m)	نام نیمرخ
-/۲۴	۶۹/۲۶	۰/۷۶	۰/۴۷	۰/۶۲	Sh1_1_24.9	-/۰۹	۶۹/۲۶	-/۹۱	۰/۴۱	۰/۴۵	Sh1_1_14.2
-/۱۰	۵۷/۷۷	۰/۹۰	۰/۴۴	۰/۴۹	Sh1_2_19.5	-/۰۹	۵۷/۷۷	-/۹۱	۰/۴۰	۰/۴۴	Sh1_2_15
-/۰۵	۱۱۶/۳۴	۰/۹۵	۰/۱۸	۰/۱۹	Sh1_4_14.5	-/۲۹	۵۷/۷۷	-/۷۱	۰/۳۵	۰/۴۹	Sh1_2_26
-/۶۸	۱۱۶/۳۴	۰/۳۲	۰/۰۹	۰/۲۸	Sh1_5_27.3	-/۱۱	۱۱۳/۱۷	-/۸۹	۰/۲۵	۰/۲۸	Sh1_5_15.65
-/۱۱	۶۶/۱۳	۰/۸۹	۰/۶۴	۰/۷۲	Sh2_2_15.4	-/۱۸	۶۶/۱۳	-/۸۲	۰/۴۵	۰/۵۵	Sh2_2_8
-/۲۸	۵۸/۵۴	۰/۷۲	۰/۵۱	۰/۷۱	Sh2_3_12	-/۱۳	۶۶/۱۳	-/۸۷	۰/۳۴	۰/۳۹	Sh2_2_18.4
-/۱۱	۵۴/۷۳	۰/۸۹	۰/۱۷	۰/۱۹	F_2_6	-/۱۲	۵۲/۵۸	-/۸۸	۰/۵۹	۰/۶۷	Sh2_4_11.5
-/۴۸	۵۸/۴۸	۰/۵۲	۰/۱۴	۲۷	F_3_5	-/۱۶	۵۴/۷۳	-/۸۴	۰/۳۷	۰/۴۴	F_2_14
-/۰۶	۵۸/۲۷	۰/۹۴	۰/۳۲	۰/۳۴	F_4_10	-/۱۹	۵۸/۲۷	-/۸۱	۰/۲۶	۰/۳۲	F_4_8
-/۱۷	۶۴/۱۲	۰/۸۳	۰/۳۳	۰/۴۰	F_5_15	-/۱۶	۶۴/۱۲	-/۸۴	۰/۳۲	۰/۳۸	F_5_12
-/۴۲	۳۵/۲۲	۰/۵۸	۰/۲۳	۰/۴۰	D_1_5.25	-/۴۲	۳۵/۲۲	-/۵۸	۰/۲۶	۰/۴۵	D_1_3
-/۲۴	۴۲/۰۲	۰/۷۶	۰/۲۵	۰/۳۳	D_2_6.5	-/۱۹	۴۲/۰۲	-/۸۱	۰/۲۱	۰/۲۶	D_2_3
-/۶۴	۴۴/۳۲	۰/۳۳	۰/۰۷	۰/۲۱	D_3_4.6	-/۰۸	۴۴/۳۲	-/۹۲	۰/۲۲	۰/۲۴	D_3_1.55
-/۴۸	۳۵/۲۲	۰/۵۲	۰/۲۲	۰/۴۲	D_5_1.5	-/۱۴	۴۴/۳۲	-/۸۶	۰/۱۸	۰/۲۱	D_3_6.05

پایین‌افتادگی جریان رخ داده است در محور مرکزی رودخانه قرار دارد که اکثر آن (۶ نیمرخ) در بازه‌های شاپور ۱ و دالکی قرار دارد

بر اساس جدول (۴) می‌توان نتایج زیر را ذکر کرد: ۱_ ۸ نیمرخ از ۲۸ نیمرخ که در آن‌ها پدیده

که یکی از دلایل آن وجود توده‌های گیاهی بیشتر در محور مرکزی این دو بازه است که باعث ناهمگنی آشفتگی^۱ و در نتیجه توسعه جریان‌های ثانویه می‌شود.

اعتبار قانون لگاریتمی

در شکل (۷) نحوه تعیین اعتبار قانون لگاریتمی در نیمرخ‌های موجود در محور مرکزی از ۴ بازه انتخابی ارائه شده است که نقاط آبی نشان‌دهنده نقاطی است که از قانون لگاریتمی پیروی می‌کنند (ناحیه داخلی) و نقاط قرمز نقاطی را نشان می‌دهند که نسبت به قانون لگاریتمی انحراف دارند (ناحیه خارجی). لازم به ذکر است که برای نمایش بهتر شکل، نیمرخ D_5_5.25 در شکل (۷) آورده نشده است.

بر اساس شکل (۷) مقادیر ضریب تعیین (R^2) در همه نیمرخ‌ها بیشتر از ۹۰ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده انطباق مناسب قانون لگاریتمی بر داده‌های اندازه‌گیری در ناحیه داخلی است. در نیمرخ‌هایی که داده‌های لایه خارجی در پایین خط لگاریتمی قرار دارد، گرادیان فشار مطلوب ($\frac{\partial p}{\partial x} < 0$) غالب است و در صورتی که انحراف به سمت بالای خط رگرسیونی باشد، گرادیان فشار نامطلوب ($\frac{\partial p}{\partial x} > 0$) غالب است (mohammadzade miyab, 2014). در این پژوهش انحراف داده‌های لایه خارجی در اکثر نیمرخ‌ها به سمت پایین خط لگاریتمی است که دلیل آن وجود ناهمگنی آشفتگی ناشی از پوشش گیاهی در این بازه‌ها می‌باشد و نشان‌دهنده غالب بودن گرادیان فشار مطلوب ($\frac{\partial p}{\partial x} < 0$) است. با بررسی نیمرخ‌های سرعت مشاهده شد که نیمرخ‌های واقع بر روی تاج شکل بستر نامنظم‌تر از نیمرخ‌های ناحیه فرورفته می‌باشد و مقدار ضریب تعیین مربوط به برازش قانون لگاریتمی در این نیمرخ‌ها نسبت به نیمرخ‌های ناحیه فرورفته مقدار کمتری داشتند که دلیل آن می‌تواند افزایش ناگهانی سرعت بر روی تاج شکل بستر و قرار گرفتن در ناحیه جدایی جریان در این ناحیه باشد.

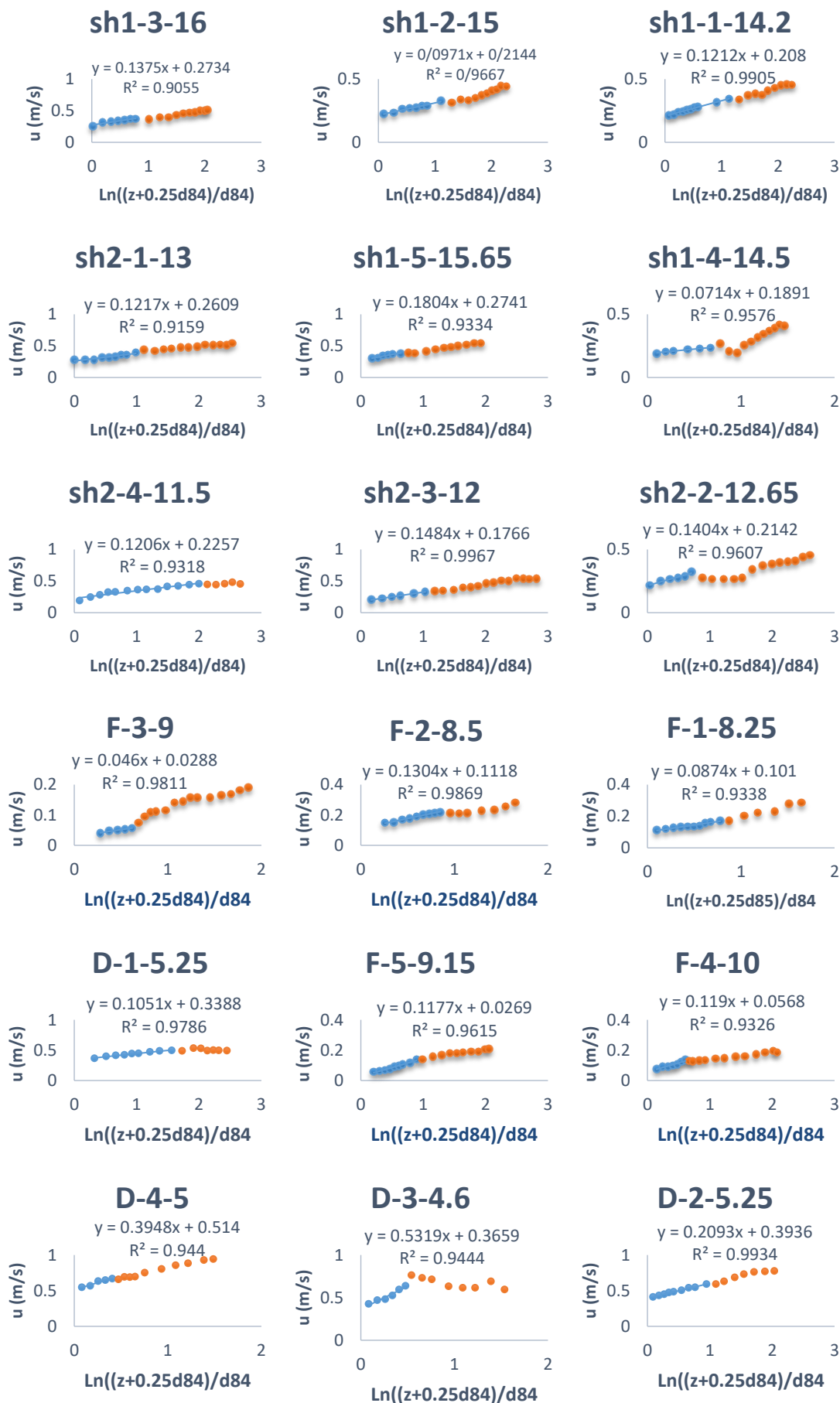
در جدول (۵) حد بالای اعتبار قانون لگاریتمی ($(\frac{Z}{h})_{Log}$) و پارامتر انتگرال‌گیری (Br) برای نیمرخ‌های اندازه‌گیری شده ارائه شده است.

۲_ مقدار پارامتر Dip در بازه‌های انتخابی متغیر است و تا ۶۸ درصد به دست آمده است که با نتایج سایر محققان مطابقت خوبی دارد. (2014) mohammadzade miyab با بررسی رودخانه درشت‌دانه بابلرود مقدار پارامتر Dip را برای حالت با پوشش گیاهی تا ۶۵ درصد و برای حالت بدون پوشش گیاهی تا ۵۰ درصد گزارش کرد؛ همچنین بیان کرد که ناهمگنی آشفتگی و مشاهده پدیده پایین‌افتادگی جریان مستقل از نوع جریان است و به‌طور مشخص به اندازه گرداب^۲ و تنش‌های برشی نرمال و برشی در جریان بستگی دارد؛ هرچند احتمال وقوع پدیده پایین‌افتادگی جریان در جریان‌های غیریکنواخت تند شونده بسیار بیشتر از جریان‌های یکنواخت کندشونده می‌باشد. (Lashminarayana et al. 1984) با بررسی جریان‌های یکنواخت با بستر زبر مقدار پارامتر Dip را برای محور مرکزی تا ۶۷ درصد (Kironoto and et al. 1995) این مقدار را تا ۲۲ درصد به دست آوردند.

۳_ مقدار پارامتر Dip برای بازه دالکی در مقایسه با سایر بازه‌ها بیشتر به دست آمده است که به معنی این است که سرعت بیشینه به کف بستر نزدیک‌تر است؛ یکی از دلایل آن می‌تواند کمتر بودن نسبت ظرافت در این بازه در مقایسه با سایر بازه‌ها باشد.

۴_ در نیمرخ‌هایی که بسیار نزدیک به توده‌های گیاهی اندازه‌گیری شده‌اند (D_1_3, D_1_5.25, Sh1_5_27.3) و مقدار (D_3_4.6) سرعت بیشینه جریان به کف بستر نزدیک‌تر و مقدار پارامتر Dip بزرگ‌تر به دست آمده‌اند؛ زیرا توده‌های گیاهی باعث تشدید ناهمگنی آشفتگی می‌شود که این ناهمگنی آشفتگی باعث توسعه جریان‌های ثانویه و در نتیجه افزایش پارامتر Dip می‌شود (mohammadzade miyab, 2014).

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش و پژوهش‌های پیشین عوامل مؤثر بر محل وقوع سرعت بیشینه در نیمرخ سرعت عبارت‌اند از: ۱- نسبت ظرافت کانال ($(\frac{W}{h})$)؛ ۲- یکنواخت یا غیریکنواخت بودن جریان؛ ۳- وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی در جریان؛ ۴- نوع پوشش گیاهی (Lashminarayana et al.)



شکل ۷- نحوه تعیین محدوده برقراری قانون لگاریتمی در نیمرخ‌های محور مرکزی از ۴ بازه انتخابی

جدول ۵- مقادیر حد بالای اعتبار قانون لگاریتمی و پارامتر انتگرال گیری در نیمرخ‌های سرعت

Br	$(\frac{Z}{h})_{Log}$	نام نیمرخ	Br	$(\frac{Z}{h})_{Log}$	نام نیمرخ
۶/۳۵	۰/۳۱	Sh1_1_14.2	۲/۶۵	۰/۳۷	Sh1_1_4.5
۳/۳۴	۰/۱۳	Sh1_1_24.9	۳/۳۰	۰/۴۵	Sh1_1_18.2
۵/۵۲	۰/۳۰	Sh1_2_15	۴/۰۹	۰/۲۲	Sh1_2_10
۶/۵۲	۰/۴۷	Sh1_2_26	۵/۳۱	۰/۱۶	Sh1_2_19.5
۴/۹۷	۰/۲۶	Sh1_3_16	۲/۹۰	۰/۳۸	Sh1_3_11
۲/۹۳	۰/۵۵	Sh1_3_26	۳/۳۰	۰/۳۰	Sh1_3_18.4
۶/۶۲	۰/۴۲	Sh1_4_14.5	۰/۶۶	۰/۳۰	Sh1_4_10.5
۴/۹۶	۰/۳۳	Sh1_4_25	۴/۰۶	۰/۳۳	Sh1_4_16.5
۳/۸۰	۰/۲۵	Sh1_5_15.65	۳/۶۳	۰/۲۶	Sh1_5_9.3
۴/۱۳	۰/۱۸	Sh1_5_27.3	۲/۹۱	۰/۵۱	Sh1_5_22.3
۵/۳۶	۰/۲۰	Sh2_1_13	۴/۴۵	۰/۲۴	Sh2_1_8
۳/۹۳	۰/۲۴	Sh2_1_19	۴/۸۶	۰/۲۴	Sh2_1_15
۳/۸۱	۰/۱۳	Sh2_2_12.65	۲/۴۸	۰/۲۵	Sh2_2_8
۳/۵۹	۰/۳۱	Sh2_2_18.4	۶/۱۴	۰/۲۹	Sh2_2_15.4
۲/۹۸	۰/۱۵	Sh2_3_12	۶/۲۸	۰/۱۸	Sh2_3_7
۵/۹۸	۰/۲۰	Sh2_3_16	۴/۹۹	۰/۲۵	Sh2_3_14
۴/۶۸	۰/۵۱	Sh2_4_11.5	۶/۹۸	۰/۵۰	Sh2_4_7
۳/۸۹	۰/۲۷	Sh2_4_17	۳/۵۰	۰/۵۷	Sh2_4_14
۲/۸۹	۰/۳۹	F_1_8.25	۱/۴۳	۰/۲۸	F_1_4.5
۳/۱۹	۰/۱۷	F_1_13.5	۵/۳۹	۰/۲۲	F_1_11.5
۲/۱۴	۰/۴۲	F_2_8.5	۲/۰۶	۰/۳۷	F_2_6
۴/۳۳	۰/۱۸	F_2_14	۱/۶۰	۰/۳۴	F_2_11
۱/۵۷	۰/۲۶	F_3_9	۳/۴۴	۰/۲۰	F_3_5
۱/۴۸	۰/۱۳	F_3_15	۲/۶۹	۰/۲۹	F_3_13
۱/۱۹	۰/۲۱	F_4_10	۱/۷۴	۰/۲۵	F_4_8
۲/۳۷	۰/۲۲	F_4_15	۲/۴۷	۰/۱۴	F_4_13
۰/۵۷	۰/۲۹	F_5_9.15	۳/۴۲	۰/۴۳	F_5_5
۱/۹۴	۰/۱۹	F_5_15	۱/۶۴	۰/۵۳	F_5_12
۲/۷۲	۰/۴۰	D_1_5.25	۴/۵۷	۰/۵۸	D_1_3
۳/۴۰	۰/۵۰	D_2_3	۲/۲۹	۰/۲۳	D_1_6
۷/۰۳	۰/۴۵	D_2_7.5	۴/۴۹	۰/۳۱	D_2_5.25
۱/۲۳	۰/۳۱	D_3_4.6	۳/۳۴	۰/۳۳	D_3_1.55
۴/۴۸	۰/۱۷	D_4_1.5	۷/۲۴	۰/۴۳	D_3_6.05
۰/۷۳	۰/۳۴	D_4_8	۳/۲۵	۰/۳۰	D_4_5
۲/۷۴	۰/۵۰	D_5_5.25	۳/۳۱	۰/۱۹	D_5_2
-	-	-	۳/۲۲	۰/۲۶	D_5_9.5

نیمرخ‌های مختلف ثابت نیست؛ (moradian et al. (2013 دلیل آن را تفاوت در اندازه زبری و نسبت ظرافت اعلام کرده‌اند. دامنه تغییرات پارامتر Br در بازه فلهیان در مقایسه با ۳ بازه دیگر کمتر می‌باشد.

میانگین مقدار پارامتر Br در ۴ بازه انتخابی در این پژوهش ۳/۶۲ به دست آمده است. (Reynolds (1974 مقدار $Br=5$ و $Br=8/5$ را به ترتیب برای جریان صاف و زبر گزارش کرد. (Kironoto and et al. (1995 نیز برای گوی‌های فلزی زبر و بستر شنی به ترتیب مقادیر $Br=8/3$ و $Br=8/8$ را گزارش کرده‌اند. اختلاف مقدار Br در این پژوهش با پژوهش‌های گذشته به این

محققان مختلفی محدوده اعتبار قانون لگاریتمی را در ۲۰ درصد نزدیک بستر گزارش کرده‌اند؛ (Kironoto and et al., 1995؛ اما با توجه به (Song, 1995; Afzalimehr and Anctil, 2000 جدول (۵) مشخص است که تعداد کمی از نیمرخ‌ها دارای چنین ویژگی‌ای هستند و این محدوده می‌تواند تا ۵۸ درصد نیز برسد. (Keulegan (1938 نیز نشان داد که اعتبار قانون لگاریتمی می‌تواند بیشتر از ۲۰ درصد باشد. (Yalin (1992 با بررسی شکل بستر از نوع شکنج این محدوده را برابر با عمق جریان در نظر گرفته است. با توجه به جدول (۵) مقدار پارامتر انتگرال گیری (Br) در

۲_ در نیمرخ‌های نزدیک به توده گیاهی، سرعت بیشینه جریان در نیمرخ سرعت به کف بستر نزدیک‌تر و مقدار پارامتر Dip بزرگ‌تر به دست می‌آید؛ زیرا توده‌های گیاهی باعث تشدید ناهمگنی آشفتگی می‌شود که این ناهمگنی آشفتگی باعث توسعه جریان‌های ثانویه و در نتیجه افزایش پارامتر Dip می‌شود. همچنین مقدار پارامتر Dip در بازه‌های انتخابی متغیر و تا ۶۸ درصد به دست آمد.

۳_ با بررسی نیمرخ‌های سرعت مشخص شد که قانون لگاریتمی به‌خوبی در بازه‌های دارای توده گیاهی قابل کاربرد می‌باشد. همچنین دامنه تغییرات پارامتر انتگرال‌گیری (Br) برای نیمرخ‌های اندازه‌گیری بسیار زیاد می‌باشد که دلیل آن تفاوت در اندازه ذرات رسوب و نسبت ظرافت می‌باشد.

۴_ مقدار حد بالای اعتبار قانون لگاریتمی در رودخانه‌های دارای توده گیاهی تا ۵۸ درصد نیز ممکن است به دست آید. این عدد در آزمایشگاه‌ها برای داده‌های سرعت تا ۲۰ درصد عمق نزدیک بستر گزارش شده است. همچنین انحراف داده‌های ناحیه خارجی به سمت پایین خط برازش یافته رگرسیونی می‌باشد که نشان‌دهنده غالب بودن گرادیان فشار مطلوب ($\frac{dp}{dx} < 0$) یعنی شتاب جابجایی جریان در امتداد مسیر رودخانه در مناطق داده‌برداری است.

نتایج این پژوهش می‌تواند در رودخانه‌های کوهستانی دارای توده گیاهی برای بهسازی مدل‌های هیدرولیکی مورد استفاده قرار گیرد که حاصل آن برآورد دقیق‌تر دبی جریان، سرعت برشی، مقاومت جریان و در نتیجه توجیه مناسب هزینه طرح‌های مهندسی رودخانه می‌باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Afzalimehr, H., & Anctil, F. (2000). Accelerating shear velocity in gravel-bed channels. *Hydrological Sciences Journal*, 45(1), 113–124.
- Afzalimehr, H., Barahimi, M., & Sui, J. (2019). Non-uniform flow over cobble bed with submerged vegetation strip. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, 172(2), 86–101.
- Brierley, G. J., & Fryirs, K. A. (2013). *Geomorphology and river management: applications of the river styles framework*. John Wiley & Sons.
- Chow, V.T. (1959). *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill.
- Clauser, F. H. (1954). Turbulent boundary layers in adverse pressure gradients. *Journal of the Aeronautical Sciences*, 21(2), 91–108.
- Cotton, J. A., Wharton, G., Bass, J. A. B., Heppell, C. M., & Wotton, R. S. (2006). The effects of seasonal changes to in-stream vegetation cover on patterns of flow and accumulation of sediment. *Geomorphology*, 77(3–4), 320–334.
- Derakhshan, S., Afzalimehr, H., & Singh, V. P. (2021). Effect of Vegetation Patch Distribution on the Flow Resistance.
- Emadzadeh, A., Chiew, Y. M., & Afzalimehr, H. (2010). Effect of accelerating and decelerating flows on incipient motion in sand bed streams. *Advances in Water Resources*, 33(9), 1094–1104.
- Fazlollahi, A., & Afzalimehr, H. (2013). Validation of Spatially Averaging Method for Using the Law of the Wall over Concave Bed Form (pool). *Journal of Hydraulics*, 8(2), 19–28.
- Gibson, A. F. (1909). On the depression of the filament of maximum velocity in a stream flowing through

دلیل است که پژوهش‌های گذشته در حالت کنترل‌شده آزمایشگاهی و بدون حضور پوشش گیاهی و در شرایط جریان متعادل صورت گرفته است؛ در حالی که در این پژوهش جریان به‌صورت نامتعادل و در حضور پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین تنوع مقادیر Br در جدول (۵) نشان‌دهنده پیچیدگی شرایط اندازه‌گیری در رودخانه است که امکان حصول تعادل در جریان را غیرممکن می‌سازد.

نتیجه‌گیری

توزیع سرعت اساس کلیه معادلات جریان در مهندسی رودخانه بوده و محدوده وسیعی از کاربردها مانند برآورد دبی جریان، سرعت برشی، مقاومت جریان، انتقال رسوب و فرسایش را شامل می‌شود. از آنجاکه اکثر مطالعات در مهندسی رودخانه محدود به کار آزمایشگاهی است و مطالعات میدانی به‌صورت محدود انجام شده است؛ بنابراین در این پژوهش ۴ بازه از رودخانه‌های استان فارس و بوشهر مورد اندازه‌گیری قرار گرفته است. بر اساس این پژوهش موارد زیر را می‌توان نتیجه‌گیری کرد:

۱_ اگرچه تصور می‌شود که در رودخانه‌های عریض به دلیل بالا بودن نسبت ظرافت ($35 < \frac{W}{h} < 117$)، حداکثر سرعت در نیمرخ باید روی سطح آب رخ دهد؛ اما نتایج این پژوهش نشان داد که در ۳۹ درصد نیمرخ‌ها پدیده پایین‌افتادگی جریان رخ داده است که این موضوع نشان می‌دهد که نسبت ظرافت تنها عامل تأثیرگذار بر پایین‌افتادگی جریان نیست. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش و پژوهش‌های پیشین عوامل مؤثر بر محل وقوع سرعت بیشینه در نیمرخ سرعت عبارت‌اند از: ۱_ نسبت ظرافت کانال ($\frac{W}{h}$)، ۲_ یکنواخت یا غیریکنواخت بودن جریان، ۳_ وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی در جریان، ۴_ نوع پوشش گیاهی.



- an open channel. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 82(553), 149–159.
- Keulegan, G. H. (1938). *Laws of turbulent flow in open channels* (Vol. 21). National Bureau of Standards USA.
- Kironoto, B. A., Graf, W. H., & REYNOLDS. (1995). Turbulence characteristics in rough non-uniform open-channel flow. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Maritime and Energy*, 112(4), 336–348.
- Kothyari, U. C., Hayashi, K., & Hashimoto, H. (2009). Drag coefficient of unsubmerged rigid vegetation stems in open channel flows. *Journal of Hydraulic Research*, 47(6), 691–699.
- Lei, J., & Nepf, H. (2016). Impact of current speed on mass flux to a model flexible seagrass blade. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121(7), 4763–4776.
- López Alonso, R., Barragán Fernández, J., and Colomer, M. (2009). "Flow resistance equations for mountain rivers." *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, 2009, vol. 18, núm. 1, p. 81-91.
- Mohammadzade miyab, N. (2014). Influence of aspect ratio in estimating hydrodynamic drag coefficient under declaratory flow over gravel-bed channels and vegetated bank. *Isfahan University of Technology* (in persian).
- Moradian, M., Afzalimehr, H., Heidarpour, M., & Haribzadeh. (2013). Investigates the log law under uniform flow over a gravel-bed. *9th International River Engineering Conference* (in persian).
- Muhammad, M. M., Yusof, K. W., Mustafa, M. R. U., Ghani, A. A., Abdurrasheed, A. S., Sholagberu, A. T., Argungu, A. S., & Abubakar, U. A. (2021). Hydrodynamics of Flow over Axonopus Compressus (Cow Grass) as a Flexible Vegetation. *Proceedings of the International Conference on Civil, Offshore and Environmental Engineering*, 103–110.
- Naderi, M., Afzalimehr, H. A., & Sohrabi, S. (2021). Investigation of Three-parameter Flow Resistance Model in Coarse-Bed Rivers (Case Study: Deryuk River). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(5), 1423–1435 (in persian).
- P. Lashminarayana, K. V. N. Sarma, and N. S. L. R. (1984). Dip in vertical velocity profiles and flow in rectangular open channel flow. *21st IAHR Congress. Melbourne*, 115–119.
- Pasquino, V., & Gualtieri, P. (2017). Flow resistance of submerged rigid vegetation: Focus and validation on two layer approach. *Proceedings of the 37th IAHR World Congress, Kuala Lumpur, Malaysia*, 13–18.
- Song, T. (1995). Velocity and turbulence distribution in non-uniform and unsteady open-channel flow (No. THESIS). EPFL.
- Song, T., and Chiew, Y. M. (2001). Turbulence measurement in nonuniform open-channel flow using acoustic Doppler velocimeter (ADV). *Journal of Engineering Mechanics*, 127(3), 219–232.
- Wang, J., Shi, F., Chen, P., Wu, P., & Sui, J. (2015). Impact of bridge pier on the stability of ice jam. *Journal of Hydrodynamics*, 27(6), 865–871.
- Wolman, M. G. (1954). A method of sampling coarse river-bed material. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 35(6), 951–956.