

## Case Study

## Field Investigation of Flow Resistance Due to Vegetation Patch (Case Study: Shapur, Fahlian, and Dalaki Rivers)

Masoud Naderi<sup>1\*</sup>, Hosein Afzalimehr<sup>2</sup>, and Ayoub Dehghan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Master Alumni, Department of Water and Environment, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Professor, Department of Water and Environment, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

<sup>3</sup>M.Sc. Student, Department of Water and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

### Article information

**Received:** Febraury 18, 2022

**Revised:** May 16, 2022

**Accepted:** May 16, 2022

### Keywords:

Fars Province

Flow Resistance

Mountain Rivers

Vegetation Patch

Velocity Profile

\*Corresponding author:

[masoud\\_naderi97@iust.ac.ir](mailto:masoud_naderi97@iust.ac.ir)



### Abstract

Flow resistance in rivers with vegetation patches is one of the challenging parameters in river engineering. This study aimed to investigate the effect of vegetation patches on flow resistance in Shapur, Fahlian, and Dalaki rivers. The data measured in this study include velocity measurement, surveying, and bed sampling. In this study, considering the simplifying assumptions, the equation for the flow resistance due to vegetation patches was derivated. Accordingly, the flow resistance due to vegetation patches was obtained by the difference in the flow resistance due to bed from the value of the total flow resistance for each section. The results show that the average percentage of vegetation patches' contribution from the total flow resistance is 44%, which shows the significant effect of vegetation patches on flow resistance. In addition, an investigation of 71 measured velocity profiles showed the phenomenon of Dip in the velocity profiles near the vegetation patches, and by moving away from the vegetation patches, the effect of this phenomenon is reduced and the profiles become S-shaped.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



### Introduction

Vegetation patch affects flow hydraulic parameters such as flow velocity and resistance, which can provide valuable environmental services in aquatic environments. Vegetation patches affect flow hydraulic parameters such as flow velocity and resistance, which can provide helpful environmental services in aquatic

environments. On the other hand, these vegetation patches can increase the flow resistance in the flow path, which results in a decrease in water transfer capacity. Roughness coefficients for calculating the velocity and discharge in open channels such as rivers in various forms, such as Manning coefficient ( $n$ ), Chezy coefficient ( $C$ ), Darcy Weisbach coefficient ( $f$ ), and dimensionless velocity



coefficient ( $U/U^*$ ) are defined, where  $U$  is the flow velocity and  $U^*$  is the shear velocity. Among these roughness coefficients, the Manning coefficient ( $n$ ) has been widely used in river and hydraulic engineering due to the propagation of tables and various experimental relationships, and many researchers have studied this coefficient for vegetated flow. The subject of this research covers two essential issues in the river and hydraulic engineering: a) Flow resistance, which due to its close relationship with the bed shear stress and sediment transport, its determination in open channels is of considerable importance; and b) Vegetation patch, which recognizing its effect on hydraulic parameters of flow in open channels is one of the challenging issues in river engineering. The objective of this research is to investigate the contribution of vegetation cover to the total flow resistance in coarse-bed rivers. Meanwhile, a relationship is presented to estimate the flow resistance due to vegetation patches using patch density.

### Material and Methods

In this study, four almost straight reaches of rivers of Fars and Bushehr provinces in Iran were selected, including two reaches of 43 and 30 m from Shapur river (Fars province), one reach of 35 meters from Fahlian river (Fars province), and one reach 28 meters from Dalaki River (Bushehr province). The data measured in this study include velocity measurement, surveying, and bed sampling. Velocity measurement in this study was performed using Butterfly Current

Meter (BCM). The duration of velocity measurement in this study was 20 seconds, and the number of repetitions in velocity measurement was considered three to five times. Sampling of the riverbed was performed by the Wolman method, and gradation diagrams for each section were drawn. A Leica Total Station camera was used to survey the studied reaches in this study. surveying was done in selected reaches with networking 0.5 m in the cross-section and 1 m in the longitudinal direction of the river. Considering the simplifying assumptions, the equation for the flow resistance due to vegetation patches was derivated. Accordingly, the flow resistance due to vegetation patches was obtained by the difference in the flow resistance due to bed from the value of the total flow resistance for each section.

### Results

Investigating the gradation diagram of bed particles in selected reaches, it was found that the river is sandy and gravely with non-uniform distribution. In this study, 71 velocity profiles (19 points) were measured in 19 cross-sections. Investigation of these measured velocity profiles showed the phenomenon of Dip in the profiles near the vegetation patches, and by moving away from the vegetation patches, the effect of this phenomenon is reduced and the profiles become S-shaped. Table (1) shows the value of the total manning coefficient and manning coefficient due to vegetation patches in each measured cross-section.

Table 1 Total manning coefficient and manning coefficient due to vegetation in each of the measured sections

Reach	section number	$a$	$k_s$ (m)	$S_e$	$n_{tot}$	$n_0$	$n_v$	$(n_v/n_{tot}) \times 100$
Shpur1	1	13.97	0.133	0.0007	0.048	0.0294	0.186	39
	2	13.33	0.121	0.0063	0.1501	0.0292	0.1209	81
	3	13.28	0.139	0.0091	0.1468	0.0309	0.1161	79
	4	13.10	0.134	0.0004	0.0072	0.0288	-0.0025	-9
	5	13.12	0.118	0.0031	0.0715	0.0301	0.0413	58
Shpur2	1	14.17	0.142	0.0005	0.0391	0.0301	0.0089	23
	2	13.80	0.134	0.0016	0.0630	0.0297	0.0333	53
	3	13.49	0.112	0.0004	0.0356	0.0283	0.0073	20
	4	13.16	0.125	0.0012	0.0643	0.0291	0.0351	50
Fahlyan	1	13.14	0.114	0.0036	0.1378	0.0297	0.1081	78
	2	12.77	0.104	0.0005	0.0635	0.0290	0.0345	54
	3	13.03	0.102	0.0016	0.1270	0.0286	0.0984	77
	4	12.77	0.113	0.0002	0.0376	0.0296	0.0080	21
	5	12.74	0.106	0.0001	0.0282	0.0294	-0.0012	-4
Dalaki	1	12.92	0.094	0.0034	0.0587	0.0282	0.0306	52
	2	12.68	0.114	0.0035	0.0412	0.0305	0.0106	26
	3	12.97	0.114	0.0064	0.0420	0.0312	0.0108	26
	4	13.89	0.115	0.0097	0.0863	0.0299	0.0564	65
	5	14.41	0.118	0.0085	0.0466	0.0307	0.0159	34

In Table (1),  $a$  is the shape factor,  $k_s$  is the roughness height,  $S_e$  is the slope of the energy line,  $n_{tot}$  is the total maning coefficient (Eq. 1),  $n_v$

is the Manning coefficient due to the vegetation patch (Eq. 2),  $n_0$  is the Manning coefficient due

to the bed (Eq. 3) and  $\frac{n_4}{n_{tot}} \times 100$  is percentage of vegetation patches contribution of the total manning coefficient.

$$n_{tot} = \frac{R^{2/3} S_e^{1/2}}{U} \quad (1)$$

$$n_4 = n_{tot} - n_0 \quad (2)$$

$$n_0 = \frac{R^{1/6}}{17.984 \log(\frac{aR}{k_s})} \quad (3)$$

In the above equations R is the hydraulic radius. The negative values of  $n_4$  are either due to the oversimplicity of Eq. (2), measurement errors or the exaggeration of  $n_0$  by Eq. (3). According to this table, the average percentage of vegetation patches contribution was calculated from the total manning coefficient of 44%, which shows the importance of considering vegetation patches in calculating the Manning coefficient.

### Conclusion

In the present study, the manning coefficient due to vegetation patches in 19 cross-sections in rivers of Iran was calculated. A relationship with the coefficient of determination  $R^2=0.90$  was obtained to calculate the manning coefficient due to the vegetation patches based on the cross-sectional blockage factor (area of the cross-section occupied by the vegetation patches). On average, the percentage of vegetation patches contribution was obtained from the total flow resistance of 44%. This indicates that the failure to consider the vegetation patch in the total flow resistance, leads to a significant error in the calculation of hydraulic parameters such as

velocity and incorrect estimates in the prediction of hydraulic models. By investigating the velocity profile in the selected reaches, two dominant forms of the velocity profile were identified: a) The dip phenomenon was observed near the vegetation patch, which can be attributed to the turbulence heterogeneity due to the presence of the vegetation patch near these profiles, which causes the development of secondary flow, and b) In profiles that were far from vegetation patches, S-shaped profile was observed due to fluctuations in bed sediment size, the presence of sand and gravel in the bed, the production of a positive pressure gradient around sediments larger than average, and the presence of vegetation patch.

### Acknowledgement

This article is from the Master's Dissertation with Registration Code 2793594 of Iran University of Science and Technology. The authors consider it necessary to express their sincere thanks to the thesis jury (Dr. Ibrahim Jabari and Dr. Amir Ahmad Dehghani) who helped us in conducting and improving the quality of this research.

### Data Availability

The data can be sent by email by the corresponding author upon request.

### Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: [www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

مطالعه موردی

## بررسی میدانی مقاومت جریان ناشی از توده گیاهی (مطالعه موردی: رودخانه‌های شاپور، فهلیان و دالکی)

مسعود نادری<sup>۱\*</sup>، حسین افضل‌ی‌مهر<sup>۱</sup> و ایوب دهقان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه آب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران  
<sup>۲</sup>استاد، گروه آب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران  
<sup>۳</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۱۱/۲۹]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۰۲/۲۶]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۰۲/۲۶]

### واژه‌های کلیدی:

استان فارس

توده گیاهی

رودخانه‌های کوهستانی

مقاومت جریان

نیمرخ سرعت

### \*نویسنده مسئول:

[masoud\\_naderi97@iust.ac.ir](mailto:masoud_naderi97@iust.ac.ir)

مقاومت جریان در رودخانه‌های دارای توده گیاهی از جمله پارامترهای چالشی در مهندسی رودخانه است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر توده گیاهی بر مقاومت جریان در رودخانه‌های شاپور، فهلیان و دالکی است. داده‌های اندازه‌گیری شده در این پژوهش شامل اندازه‌گیری سرعت، نقشه‌برداری بازه‌ها و نمونه‌برداری از بستر است. در این پژوهش پس از در نظر گرفتن فرضیات ساده‌کننده، رابطه‌ای برای مقاومت جریان ناشی از توده گیاهی استخراج شد. بر این اساس مقاومت جریان ناشی از توده گیاهی از طریق تفاضل مقاومت جریان ناشی از ذرات بستر از مقدار مقاومت جریان کل برای هر مقطع به دست آمد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که به‌طور میانگین درصد مشارکت توده گیاهی از مقاومت جریان کل ۴۴٪ است که نشان‌دهنده تأثیر غیرقابل‌انکار توده گیاهی بر مقاومت جریان است. همچنین بررسی ۷۱ نیمرخ سرعت اندازه‌گیری شده حاکی از پدیده پایین‌افتادگی جریان در نیمرخ‌های نزدیک توده گیاهی بود که با فاصله گرفتن از توده گیاهی اثر این پدیده کاهش یافته و نیمرخ‌ها حالت S شکل به‌خود می‌گیرند.

### ۱- مقدمه

در گذشته تصور بر این بوده است که توده گیاهی در محیط‌های آبی تنها باعث کاهش سرعت می‌شود که پیامد آن بالا آمدن سطح آب است. با این حال مطالعات انجام‌شده در سه دهه گذشته نشان می‌دهد که توده گیاهی آثار محیط زیستی قابل‌توجهی را به همراه دارد که توسط محققان مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (Marsooli et al. 2017). توده گیاهی پارامترهای هیدرولیکی جریان مانند سرعت و مقاومت جریان را تحت تأثیر قرار می‌دهد که می‌تواند خدمات محیط زیستی ارزنده‌ای را در محیط‌های آبی مانند سواحل، تالاب‌ها و رودخانه‌ها ارائه دهد. از طرفی این

در گذشته تصور بر این بوده است که توده گیاهی در محیط‌های آبی تنها باعث کاهش سرعت می‌شود که پیامد آن بالا آمدن سطح آب است. با این حال مطالعات انجام‌شده در سه دهه گذشته نشان می‌دهد که توده گیاهی آثار محیط زیستی قابل‌توجهی را به همراه دارد که توسط محققان



Afzalimehr and Subhasish (2009) جریان بر روی بستر شنی با دیواره‌های پوشیده از نی را مطالعه کرده و نشان دادند که حضور پوشش گیاهی با وجود عمق ثابت جریان و شیب بستر ثابت، سبب تغییر جریان از حالت یکنواخت به غیریکنواخت می‌شود. آن‌ها نشان دادند که دلیل این تغییر در ساختار جریان، توزیع غیریکنواخت تنش رینولدز و وقوع حداکثر سرعت در زیر سطح آب ناشی از حضور پوشش گیاهی در دیوار کانال می‌باشد. این نحوه توزیع سرعت و تنش رینولدز سبب می‌شود که مقادیر حاصل برای ضریب زبری کاملاً از نظر اندازه متفاوت از مقادیر گزارش شده در مراجع کلاسیک باشد. در واقع مقادیر موجود در مراجع بر اساس فرضیاتی ارائه شده‌اند که تحقق آن‌ها در رودخانه‌های کوهستانی دشوار است. از جمله این موارد می‌توان به فرضیاتی مانند چشم‌پوشی از اثر شکل بستر، اثر پوشش گیاهی در توزیع سرعت و تغییر نوع جریان از حالت تند شونده به کند شونده به دلیل تغییرات شکل بستر و عمق جریان اشاره کرد (Nepf 2012). به دلیل پدیده خشکسالی در دو دهه اخیر، در تمام فصول جریان در رودخانه‌ها برقرار نیست که پیامد آن رویش پوشش گیاهی در بستر رودخانه‌ها می‌باشد. (Nosrati et al. 2022) محور مطالعه خود را بررسی اثر پوشش گیاهی نامنظم بر مقاومت جریان در رودخانه شنی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که اثر پوشش گیاهی بر مقاومت کل جریان بیشتر از اثر شکل بستر رودخانه است. بنابراین به‌منظور برآورد مناسب از مقاومت جریان در رودخانه‌های کوهستانی و کاربرد آن در مدل‌های هیدرولیکی ضروری است که مهندسی و طراحان به سهم پوشش گیاهی در برآورد مقاومت جریان توجه ویژه‌ای داشته باشند.

موضوع این تحقیق فصل مشترک دو موضوع مهم در مهندسی رودخانه و هیدرولیک را پوشش می‌دهد: الف) مقاومت جریان که به دلیل ارتباط نزدیک آن با تنش برشی بستر و انتقال رسوب، تعیین آن در کانال‌های باز از اهمیت قابل توجهی برخوردار است؛ ب) توده گیاهی که شناخت اثر آن بر پارامترهای هیدرولیکی جریان از موضوعات چالشی در مهندسی رودخانه است. بسته به انعطاف‌پذیر یا صلب بودن پوشش گیاهی و همچنین مستغرق یا غیرمستغرق بودن پوشش، مدل‌هایی برای برآورد مقاومت جریان در حضور

توده‌های گیاهی می‌تواند در مسیر جریان باعث ایجاد مقاومت جریان شود که پیامد آن کاهش ظرفیت انتقال آب است. از این رو محققان مختلف سعی دارند تا بین خدمات محیط زیستی ارزشمند توده گیاهی و معضلات ناشی از کاهش ظرفیت انتقال آب تعادلی ایجاد کنند. این تعادل تنها در صورتی محقق می‌شود که مقاومت جریان با دقت بالایی کمی شود. جریان سیال واقعی همواره با مسئله مقاومت و افت انرژی همراه است. مقاومت جریان اثر اصطکاک بر جریان را بیان می‌کند. تاریخچه مطالعات انجام‌شده در مورد مقاومت جریان به قرن چهارم قبل از میلاد و کشور یونان برمی‌گردد. مفهوم مقاومت در برابر جریان توسط Rouse (1965) مورد بررسی قرار گرفت. از آن زمان تاکنون محققان زیادی بر روی موضوع مقاومت در برابر جریان تحقیق کرده‌اند.

ضرایب زبری برای محاسبه سرعت و دبی جریان در کانال‌های باز مانند رودخانه‌ها به شکل‌های مختلفی نظیر ضریب مانینگ ( $n$ )، ضریب شزی ( $C$ )، ضریب دارسی-ویسباخ ( $f$ ) و ضریب بی‌بعد سرعت ( $\frac{U}{U_*}$ ) تعریف می‌شود؛ که  $U$  سرعت جریان و  $U_*$  سرعت برشی می‌باشد (Chaudhry 2007). از بین ضریب‌های ارائه‌شده برای برآورد مقاومت جریان، ضریب زبری مانینگ بیشتر مورد استفاده مهندسی هیدرولیک قرار گرفته است. اگرچه ضریب مانینگ از قدمت و کاربرد فراوانی در مطالعات آبی برخوردار می‌باشد، ولی سهم پوشش گیاهی در برآورد آن به‌ویژه در رودخانه‌های کوهستانی به‌خوبی بررسی نشده است.

ضریب زبری مانینگ ناشی از پوشش گیاهی تابعی از عمق، سرعت، نوع پوشش گیاهی، انعطاف‌پذیری آن، تراکم، درصد پوشش گیاهی در محیط تر شده مقطع و جهت قرارگیری پوشش گیاهی است (Järvelä 2001, D'Ippolito 2021). روابط و جداول ارائه‌شده برای محاسبه مقاومت جریان در حضور پوشش گیاهی اغلب به‌صورت ناقص و ضمنی عوامل یادشده را شامل می‌شوند. مطالعات در مورد برهمکنش پوشش گیاهی و جریان بسیار گسترده است. بر این اساس امکان بررسی آن‌ها در یک مقاله مقدر نیست. از این رو در این بخش به مهم‌ترین عوامل مؤثر در برآورد ضریب زبری پرداخته می‌شود که شامل تنش برشی، سرعت جریان و نحوه توزیع آن‌ها است.

<sup>1</sup> Vegetation patch

مولینه است که در این پژوهش نیز از دستگاه مولینه پروانه- ای با محور افقی ساخت شرکت والپرت<sup>۲</sup> انگلستان استفاده شد. برای کاهش خطا در اندازه‌گیری سرعت در این پژوهش مدت‌زمان اندازه‌گیری S ۲۰ و تعداد تکرار در اندازه‌گیری سرعت سه تا پنج بار در نظر گرفته شد. همچنین در هر بازه چهار تا پنج مقطع عرضی و در هر مقطع سه تا چهار نیمرخ سرعت برداشت شد که محل یکی از آن‌ها در محور مرکزی رودخانه قرار داشت. در هر نیمرخ به‌طور متوسط ۱۹ سرعت نقطه‌ای برداشت شد؛ به‌طوری‌که تعداد داده‌های نزدیک بستر (لایه داخلی<sup>۳</sup> یعنی ۲۰٪ نزدیک کف رودخانه) برای محاسبه سرعت برشی از نظر آماری معنی‌دار باشد. بر این اساس فاصله بین نقاط اندازه‌گیری سرعت جریان در نزدیکی بستر ۵ mm انتخاب شد. برای محاسبه دقیق‌تر دبی و سرعت متوسط جریان در هر مقطع عرضی، سرعت جریان در فاصله ۰/۲ و ۰/۸ عمق جریان از کف بستر با فواصل یک متری در هر مقطع اندازه‌گیری شد (Okhravi and Gohari 2020). به‌طور مثال برای مقطع چهارم از بازه دالکی که عرضی برابر با ۳۳ m داشت، چهار نیمرخ سرعت ۱۹ نقطه‌ای و ۳۲ برداشت دونقطه‌ای سرعت اندازه‌گیری شد. در شکل (۱) نحوه اندازه‌گیری سرعت در بازه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱- اندازه‌گیری سرعت در بازه‌های مورد مطالعه  
Fig. 1 Measuring velocity in the studied ranges

پوشش گیاهی گسترش داده شده است (Box et al. 2021؛ Van Dijk et al. 2013)؛ اما تاکنون مدلی جامع برای پیش‌بینی مقاومت جریان در منابع یافت نمی‌شود (Shields et al. 2017). با توجه به اینکه اکثر این مدل‌ها در شرایط آزمایشگاهی و تحت کنترل، توسعه داده شده‌اند و تعمیم آن‌ها به شرایط رودخانه‌ای به‌راحتی قابل انجام نیست؛ بنابراین در این پژوهش سعی شده است تا علاوه بر محاسبه سهم توده گیاهی در برآورد مقاومت جریان کل در رودخانه‌های با بستر درشت‌دانه، رابطه‌ای برای محاسبه مقاومت جریان ناشی از توده گیاهی برحسب تراکم پوشش ارائه شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از طریق عملیات میدانی در رودخانه‌های استان فارس و بوشهر اندازه‌گیری شده‌اند. زمان داده‌برداری از ۱۹ اسفند ۱۳۹۹ شروع و در ۱۴ خرداد ۱۴۰۰ به پایان رسید. در این بخش ابتدا داده‌ها و وسایل مورد استفاده در پژوهش و سپس نحوه محاسبه پارامترها شرح داده شده است.

### ۲-۱- موقعیت محل پژوهش

بازه‌های انتخابی باید دارای عمق و سرعت مناسبی باشد. همچنین برای بررسی تأثیر توده گیاهی بر روی مقاومت جریان، بازه‌های انتخابی باید دارای مقدار مناسبی از توده گیاهی باشد، به این معنی که توده گیاهی نباید آن‌قدر زیاد باشد که امکان اندازه‌گیری سرعت با استفاده از دستگاه مولینه نباشد و نباید آن‌قدر کم باشد که نتوان تأثیر آن را بر مقاومت جریان بررسی کرد (Shafaei et al. 2019). با توجه به این نکات در نهایت چهار بازه تقریباً مستقیم از رودخانه‌های استان فارس و بوشهر انتخاب شد که شامل دو بازه با طول های ۴۳ و ۳۰ m از رودخانه شاپور (استان فارس) و دو بازه به ترتیب با طول های ۳۵ و ۲۸ m از رودخانه های فهلیان (استان فارس) و رودخانه دالکی (استان بوشهر) می‌باشد.

### ۲-۲- داده‌های اندازه‌گیری شده

#### ۲-۲-۱- اندازه‌گیری سرعت

اندازه‌گیری سرعت در مکان‌ها و اعماق مختلف جریان از مهم‌ترین کارها در مطالعات مهندسی رودخانه می‌باشد. یکی از متداول‌ترین سرعت‌سنج‌ها در پژوهش‌های میدانی دستگاه

<sup>1</sup> Current-meter

<sup>2</sup> Valeport

<sup>3</sup> Inner Layer

در این چهار بازه اندازه‌گیری شده است که با احتساب سه تا پنج بار تکرار برای هر نقطه، مجموعاً تعداد دفعات اندازه‌گیری سرعت ۷۸۳۰ بار می‌باشد. با در نظر گرفتن ۲۰ s (بیش از ۴۳ hr) داده‌برداری سرعت در چهار بازه انتخابی انجام شده است.

جدول (۱) تعداد نقاط اندازه‌گیری سرعت در چهار بازه انتخابی را نشان می‌دهد. در این جدول  $n_p$  تعداد نقاط اندازه‌گیری سرعت در نیمرخ‌های ۱۹ نقطه‌ای،  $n_{TP}$  تعداد نقاط اندازه‌گیری سرعت در نیمرخ‌های دونقطه‌ای و  $f_s$  تعداد دفعات اندازه‌گیری سرعت با احتساب سه تا پنج تکرار می‌باشد. با توجه به این جدول در مجموع سرعت ۲۱۱۳ نقطه

جدول ۱- خلاصه آماری از تعداد نقاط اندازه‌گیری سرعت در چهار بازه انتخابی

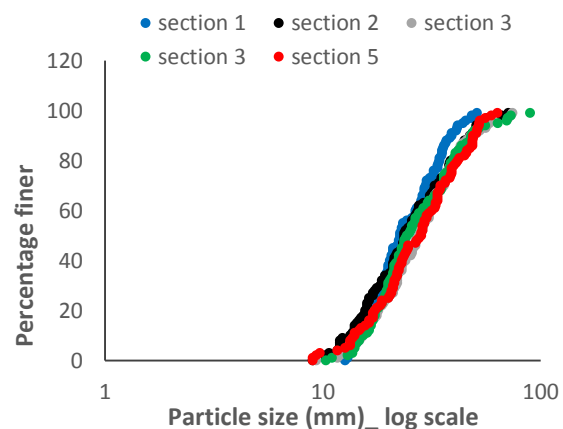
Table 1 Statistical summary of the number of velocity measuring points in four selected ranges

Reach	Number of sections	Number of profiles measured	$n_p$	$n_{TP}$	$n_p + n_{TP}$	$f_s$
Shapur1	5	20	384	298	682	2590
Shapur2	4	16	312	188	500	1850
Fahlyan	5	20	375	166	541	1950
Dalaki	5	15	298	92	390	1440
Sum	19	71	1369	744	2113	7830

تعداد ۱۰۰ ذره در هر مقطع به صورت تصادفی برداشت شد. سپس با اندازه‌گیری ابعاد ذره با استفاده از کولیس نمودار دانه‌بندی بستر مربوط به هر مقطع رسم شد و قطر مشخصه هر مقطع به دست آمد. شکل (۲) نمودار دانه‌بندی مربوط به هر پنج مقطع بازه دالکی را نشان می‌دهد.

### ۲-۲-۳- نقشه‌برداری بازه‌ها

برای محاسبه محیط خیس شده مقطع، سطح مقطع جریان، شیب طولی بازه‌ها و ابعاد توده گیاهی، نقشه‌برداری به وسیله دوربین توتال استیشن لایکا مدل TS02 صورت گرفت. نقشه‌برداری در این پژوهش شامل برداشت نقاط بستر، دیواره‌های بازه و همچنین برداشت نقاط مختلف توده‌های گیاهی می‌باشد. برای برداشت نقاط بستر و دیواره‌های بازه از شبکه‌بندی  $0.5 \times 1$  m استفاده شد که برای این کار بازه‌های موردنظر توسط طناب‌هایی با ابعاد ۱ m در راستای جریان و  $0.5$  m در راستای عرضی مقطع شبکه‌بندی و سپس نقشه‌برداری انجام شد. برای برداشت مشخصات توده گیاهی موجود در بازه‌های مورد مطالعه، در طولی از توده که تغییرات زیاد بود تعداد نقاط برداشت شده بیش‌تر در نظر گرفته شد که به‌طور متوسط برای برداشت دورتادور توده‌های گیاهی از شبکه‌بندی  $0.2 \times 0.2$  متر استفاده شد. شکل (۳-الف) نحوه نقشه‌برداری بازه‌های مورد مطالعه و شکل (۳-ب) ابعاد و نقاط نقشه‌برداری شده برای یکی از توده‌های موجود در بازه دالکی را نشان می‌دهد. علامت ضربدر قرمز در این شکل نقاط نقشه‌برداری شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲- دانه‌بندی مربوط به پنج مقطع از بازه دالکی

Fig. 2 Gradation diagram related to five sections of the Dalaki reach

### ۲-۲-۲- نمونه‌برداری از بستر رودخانه

در این پژوهش نمونه‌برداری از بستر رودخانه به روش ولمن صورت گرفت (Afzalimehr et al. 2019). این روش یکی از معتبرترین روش‌ها برای دانه‌بندی بستر در رودخانه‌ها است که توسط پژوهشگران مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است (Okhravi and Gohari 2018; Shahiri Tabarestani et al. 2022). داده‌برداری از بستر رودخانه در این پژوهش به صورت سطحی و زیرسطحی صورت گرفت. بر اساس این روش پس از انتخاب یک سطح  $1 \times 1$  m در هر یک از سه محور رودخانه (ساحل چپ، ساحل راست و محور مرکزی)

نمایش بهتر تصویر نشان داده نشده است. همچنین در شکل (۳-ج) تصویری از پلان بازه شاپور ۲ به همراه موقعیت نیمرخ‌های اندازه‌گیری شده (شامل نیمرخ‌های دونقطه‌ای و ۱۹ نقطه‌ای) و نقاط نقشه‌برداری شده آورده شده است. نقاط مشکی‌رنگ نشان‌دهنده مکان‌هایی است که در آن نقشه‌برداری انجام شده است و در نقاط قرمز رنگ علاوه بر نقشه‌برداری، نیمرخ سرعت نیز اندازه‌گیری شده است.

جدول (۲) تعداد نقاط نقشه‌برداری شده در بازه‌های انتخابی را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول در مجموع ۶۹۶۰ نقطه (شامل نقاط بستر و توده‌های گیاهی) برداشت شد و تراکم این برداشت برای نقاط بستر ( $D_b$ ) دونقطه در هر مترمربع در نظر گرفته شد. در این جدول  $N_{bed}$  تعداد نقاط برداشت‌شده از توده گیاهی است.

جدول ۲- تعداد نقاط نقشه‌برداری شده در بازه‌های انتخابی

Table 2 Number of Surveyed points in selected reaches

Reach	$N_{bed}$	$N_{Vegetation}$	$D_b$ (Point/m <sup>2</sup> )
Shapur1	2651	345	2
Shapur2	1516	256	2
Fahlyan	1258	164	2
Dalaki	576	194	2
Sum	6001	959	-

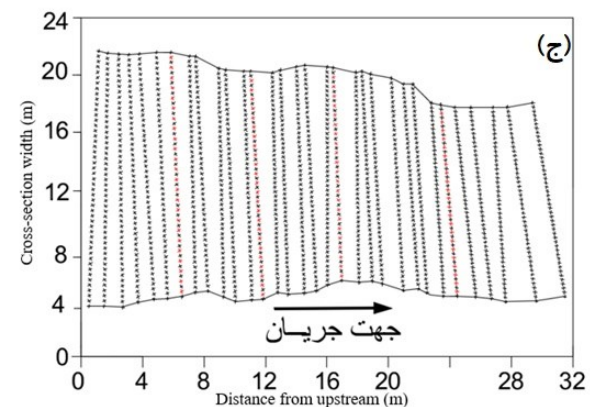
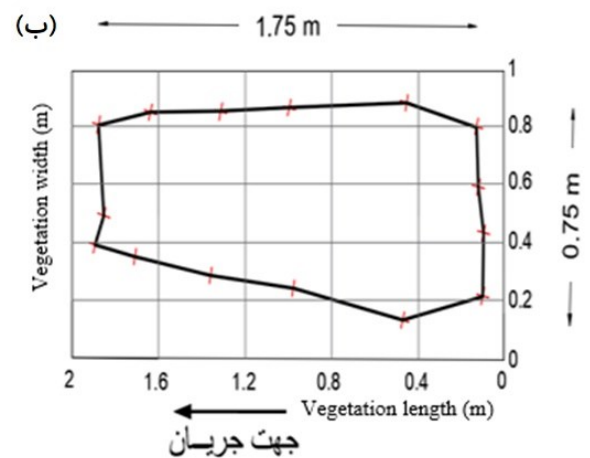
### ۳-۲- برآورد سرعت متوسط در نیمرخ

همان‌طور که اشاره شد نیمرخ‌های اندازه‌گیری شده در این پژوهش شامل نیمرخ‌های دونقطه‌ای و نیمرخ‌های ۱۹ نقطه‌ای می‌باشد. برای برآورد سرعت متوسط در نیمرخ‌های دونقطه‌ای از رابطه (۱) استفاده شده است (Naderi et al. 2021).

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

که،  $u_{0.2h}$  و  $u_{0.8h}$  به ترتیب سرعت اندازه‌گیری شده در فواصل  $0.2$  و  $0.8$  عمق جریان از بستر می‌باشند. همچنین برای محاسبه سرعت متوسط در نیمرخ‌های ۱۹ نقطه‌ای از روش دوزنقه‌ای یا انتگرالی استفاده شد که بر اساس این روش مقدار سرعت متوسط از رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$U = \frac{\int_0^h u_{avg} dz}{h} \quad (2)$$



شکل ۳- الف- نحوه نقشه‌برداری بازه‌های انتخابی، ب- ابعاد و نقاط نقشه‌برداری شده برای یکی از توده‌های موجود در بازه دالکی، و ج- تصویری از پلان بازه شاپور ۲ به همراه موقعیت نیمرخ‌های اندازه‌گیری شده و نقاط نقشه‌برداری شده

Fig. 2: a) Surveying of selected reaches; b) Dimensions and Surveyed points for one of the vegetation patches in the Dalaki reach, and c) Image of Shapur2 reach plan with the position of measured profiles and Surveyed points

لازم به ذکر است که برای تعیین ارتفاع و حجم توده گیاهی، تعدادی نقطه بر روی آن نقشه‌برداری شده است که برای



که،  $R$  شعاع هیدرولیکی،  $U$  سرعت متوسط در مقطع و  $Se$  شیب خط انرژی است که در این پژوهش برای برآورد آن از رابطه سنت‌ونانت مطابق رابطه (۶) استفاده شده است.

$$S_e = S_0 - \frac{dh}{dx}(1 - Fr^2) \quad (۶)$$

که،  $S_0$  و  $Fr$  به ترتیب شیب بستر رودخانه و عدد فرود جریان می‌باشد. مقدار مبنای ضریب مانینگ ناشی از مواد تشکیل‌دهنده بستر برای کانال صاف، یکنواخت و مستقیم ( $n_0$ ) همانند Green (2005) از روابط (۷) و (۸) محاسبه شده است.

$$n_0 = \frac{R^{1/6}}{17.984 \log\left(\frac{aR}{k_s}\right)} \quad (۷)$$

$$a = 11.1\left(\frac{R}{d_m}\right)^{-0.314} \quad (۸)$$

که،  $a$  فاکتور شکل کانال،  $k_s$  ارتفاع زبری کانال که برابر با  $2.4d_{90}$  در نظر گرفته شده است (Naderi et al. 2021) و  $d_m$  حداکثر عمق جریان می‌باشد. مزیت این روش در مقایسه با روش‌هایی مانند روش مانینگ استریکلر آن است که علاوه بر قطر ذرات تشکیل‌دهنده بستر، عمق جریان و مشخصات هندسی کانال را نیز در نظر می‌گیرد.

### ۳- یافته‌ها و بحث

#### ۳-۱- دانه‌بندی بازه‌های انتخابی

از جمله عوامل اصلی در میزان مقاومت جریان در رودخانه‌ها، دانه‌بندی بستر می‌باشد. همان‌طور که گفته شد از روش Wolman (1954) برای رسم نمودار دانه‌بندی بستر استفاده شده است. در رودخانه‌های با بستر درشت‌دانه دانستن مقدار قطرهای  $d_{16}$ ،  $d_{50}$ ،  $d_{84}$ ،  $d_{90}$  و انحراف معیار هندسی ( $\sigma_g = d_{84}/d_{16}$ ) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در جدول (۳) مقدار قطر ذرات بستر و انحراف معیار هندسی مربوط به هر مقطع ارائه شده است.

با توجه به اینکه مقدار قطر میانه ذرات بستر ( $d_{50}$ ) در همه مقاطع در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ mm می‌باشد؛ بنابراین رودخانه از نوع شنی قله‌سنگی است (Brierley and Fryirs 2013). در صورتی که مقدار انحراف معیار هندسی کمتر از ۱/۵ باشد ( $\sigma_g < 1/5$ ) توزیع ذرات بستر یکنواخت می‌باشد و اگر انحراف معیار هندسی بزرگ‌تر از دو باشد ( $\sigma_g > 2$ ) توزیع ذرات بستر غیریکنواخت می‌باشد (Naderi et al. 2021). با توجه به جدول (۳) توزیع ذرات بستر در هر بازه مورد مطالعه غیریکنواخت است.

که،  $dz$  به ترتیب میانگین سرعت و فاصله دونقطه متوالی در نیمرخ سرعت می‌باشند.

#### ۴-۲- نحوه محاسبه ضریب مانینگ توده گیاهی

به‌طور کلی ضریب زبری مانینگ کل را می‌توان از رابطه (۳) محاسبه کرد (Green 2005).

$$n_{tot} = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5 \quad (۳)$$

که،  $n_{tot}$  ضریب زبری مانینگ کل،  $n_0$  مقدار مبنای ضریب مانینگ ناشی از مواد تشکیل‌دهنده بستر برای کانال صاف، یکنواخت و مستقیم (ضریب مانینگ ناشی از بستر)،  $n_1$  ضریب مانینگ ناشی از اثرات ناهمواری بستر آبراهه،  $n_2$  ضریب مانینگ ناشی از تغییرات سطح مقطع،  $n_3$  ضریب مانینگ ناشی از وجود موانع در کانال،  $n_4$  ضریب مانینگ ناشی از وجود پوشش گیاهی در کانال و  $m_5$  ضریبی است که نشان‌دهنده میزان مارپیچی بودن کانال است (Amini et al. 2021).

با توجه به اینکه در این پژوهش فرض بر ناچیز بودن شکل بستر است و همچنین می‌دانیم که حداکثر افزایش ضریب مانینگ در اثر تغییرات اندازه و شکل مقاطع ۰/۰۰۳ است (Green 2005). بنابراین، می‌توان از مقدار ضرایب  $n_1$  (ضریب مانینگ ناشی از اثر ناهمواری بستر آبراهه) و  $n_2$  (ضریب مانینگ ناشی از تغییرات سطح مقطع) صرف‌نظر کرد. علاوه‌براین با توجه به اینکه بازه‌های انتخابی فاقد موانع مانند تخته‌سنگ و تنه درخت بود؛ بنابراین در این پژوهش از مقدار ضریب  $n_3$  (ضریب مانینگ ناشی از وجود موانع) چشم‌پوشی شده است. همچنین داده‌های نقشه‌برداری بازه‌های انتخابی حاکی از مسیر تقریباً مستقیم بازه‌های مورد مطالعه می‌باشد که با توجه به این موضوع می‌توان مقدار ضریب  $m$  (ضریب نشان‌دهنده پیچان‌رودی بازه‌ها) را برابر با یک در نظر گرفت. با توجه به نکات ذکر شده رابطه (۳) را می‌توان به‌صورت رابطه (۴) بازنویسی کرد.

$$n_4 = n_{tot} - n_0 \quad (۴)$$

مقدار  $n_{tot}$  از طریق معادله مانینگ به‌صورت رابطه (۵) قابل محاسبه است.

$$n_{tot} = \frac{R^{2/3} S_e^{1/2}}{U} \quad (۵)$$

جدول ۳- قطر ذرات بستر و انحراف معیار هندسی مربوط به هر مقطع

Table 3 Bed particles diameter and geometric standard deviation related to each section

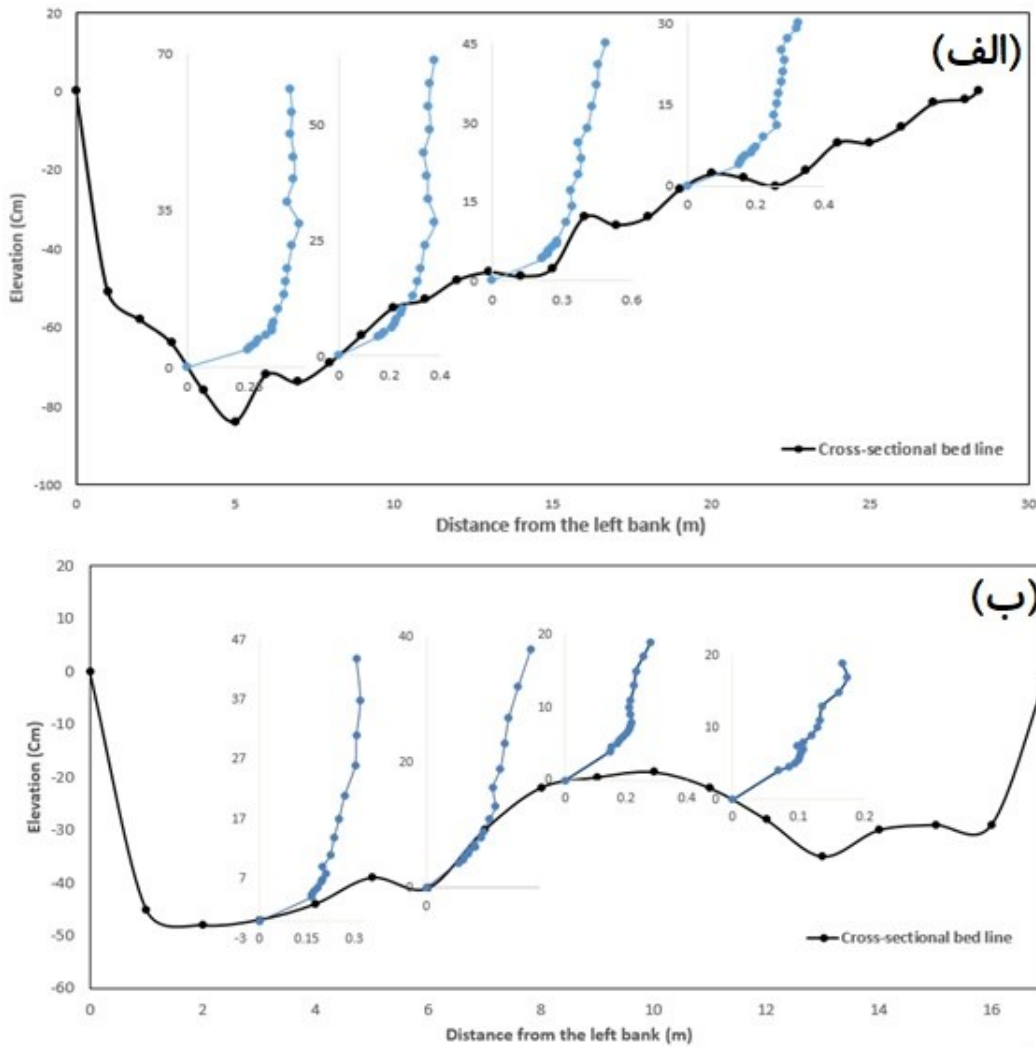
Reach	Section Number	d <sub>16</sub> (mm)	d <sub>50</sub> (mm)	d <sub>84</sub> (mm)	d <sub>90</sub> (mm)	$\sigma_g$
Shpur1	1	19.33	29.67	49.00	55.33	2.53
	2	22.67	35.00	47.00	55.33	2.07
	3	18.67	34.33	52.00	58.00	2.79
	4	15.67	27.67	46.67	56.00	2.98
	5	13.67	26.33	42.33	49.00	3.10
Shpur2	1	19.33	32.00	53.33	59.00	2.760
	2	20.33	32.33	50.67	55.67	2.49
	3	17.00	28.33	43.00	46.67	2.53
	4	22.67	32.00	47.67	52.00	2.10
Fahlyan	1	23.33	29.33	46.67	47.67	2.00
	2	19.00	28.33	38.33	43.33	2.02
	3	19.33	25.67	37.33	42.33	1.93
	4	18.67	27.00	44.00	47.00	2.36
	5	17.67	25.00	41.00	44.00	2.32
Dalaki	1	16.33	22.67	35.33	39.00	2.16
	2	14.67	23.67	43.33	47.33	2.95
	3	16.67	27.67	42.00	47.67	2.52
	4	17.00	24.33	42.00	48.00	2.47
	5	16.33	28.33	46.00	49.00	2.82

اگرچه فاصله نقاط نقشه برداری شده در مقطع عرضی ۰/۵m در نظر گرفته شده است؛ اما برای نمایش بهتر تصویر نقاط نقشه برداری شده در شکل (۴) به صورت یکی در میان نشان داده شده است. برای بررسی بهتر تأثیر توده گیاهی بر نیمرخ سرعت، تعداد نیمرخ‌ها در نواحی نزدیک توده گیاهی بیشتر در نظر گرفته شد. به همین دلیل در مقطع نشان داده شده در شکل (۴-الف) تعداد نیمرخ‌های اندازه‌گیری شده در ساحل چپ به دلیل وجود توده گیاهی متراکم، بیش‌تر در نظر گرفته شده است. با توجه به این شکل در نیمرخ موجود در ساحل چپ که در نزدیکی توده گیاهی قرار داشت پدیده پایین افتادگی جریان رخ داده است که دلیل آن را می‌توان ناهمگنی توربولانسی در اثر وجود توده گیاهی در نزدیکی این نیمرخ دانست که باعث توسعه جریان ثانویه می‌شود. در این شکل با فاصله گرفتن از توده گیاهی و حرکت به سمت ساحل راست، اثر این پدیده کاهش یافته و نیمرخ‌ها به حالت S شکل درآمده‌اند که دلیل آن نوسانات رسوب بستر، شن و قلوه سنگی بودن بستر، تولید گردابیان فشار نامطلوب در اطراف رسوبات با اندازه بزرگ‌تر از میانگین و وجود توده گیاهی است که باعث شکل‌گیری نقطه عطف در بالای بستر می‌شود (Naderi et al. 2021).

### ۳-۲- نیمرخ سرعت

در این پژوهش در مجموع ۷۱ نیمرخ سرعت که هر یک از نیمرخ‌ها به‌طور متوسط شامل ۱۹ سرعت نقطه‌ای است، در ۱۹ مقطع عرضی اندازه‌گیری شد. برای مثال در شکل (۴) مقطع عرضی و محل برداشت نیمرخ‌های سرعت اندازه‌گیری شده در دو مقطع از بازه‌های شاپورا ۱ و فهلپان نشان داده شده‌اند. پروفیل بستر جریان به رنگ مشکی به‌خوبی غیریکنواختی سطح مقطع جریان را نشان می‌دهد که پیامد آن نقض فرض جریان یکنواخت است. به‌علاوه چهار نیمرخ سرعت اندازه‌گیری شده در هر یک از مقاطع نشان می‌دهد که شکل نیمرخ‌های سرعت با توجه به مکان آن‌ها در مقطع عرضی و تأثیر آن‌ها از عوامل محیطی مانند پوشش گیاهی تغییر می‌کند که پیامد آن تغییر سرعت برشی و تنش برشی است. از آنجاکه عمده‌ترین عوامل تأثیرگذار بر برآورد مقاومت جریان، سرعت جریان و سرعت برشی هستند، شکل (۴) به‌خوبی نشان می‌دهد که به‌جای تمرکز بر یک مقدار خاص برای ضریب زبری، ضروری است که یک برآورد وزنی از آن در هر مقطع جریان داشت. در شکل (۴) واحد سرعت متر بر ثانیه (m/s) می‌باشد.

<sup>1</sup> Dip phenomenon



شکل ۴- مقطع عرضی و نیمرخ‌های سرعت اندازه‌گیری شده در الف- مقطع شماره یک از بازه شاپور ۱، و ب- مقطع شماره دو از بازه فهلان

Fig. 4 Cross-section and velocity profiles measured in: a) Section No. 1 from Shapoor 1, and b) Section No. 2 from Fahlian reach

گیاهی نیمرخ‌ها حالت S شکل به خود می‌گیرند (دو نیمرخ موجود در محور مرکزی).

### ۳-۳- برآورد مقاومت جریان ناشی از توده گیاهی

در جدول (۴) مقدار ضریب مانینگ کل و ضریب مانینگ ناشی از توده گیاهی در هر یک از مقاطع اندازه‌گیری شده آورده شده است. همان‌طور که اشاره شد ضریب مانینگ ناشی از توده گیاهی از طریق تفاضل ضریب مانینگ ناشی از بستر از مقدار ضریب مانینگ کل برای هر مقطع به دست آمده است. در این جدول ستون مربوط به  $(n_4/n_{tot}) \times 100$  نشان‌دهنده درصد مشارکت توده گیاهی از ضریب مانینگ کل در هر مقطع است.

(Sohrabi 2019) با بررسی رودخانه شنی قلوه‌سنگی دارای توده گیاهی از نوع نیمه مستغرق در استان مازندران نیمرخ S شکل را گزارش و بیان کرد که نیمرخ سرعت از بستر تا  $Z/h \approx 0.35$  روند صعودی دارد و در این نقطه، برگشت نیمرخ سرعت رخ می‌دهد؛ به‌طوری‌که نیمرخ سرعت روند کاهشی می‌گیرد و سپس در نزدیکی  $Z/h \approx 0.5$  نیمرخ سرعت به روند افزایشی خود برمیگردد. نیمرخ S شکل در سایر مجاری شنی و قلوه‌سنگی توسط محققان مختلف گزارش شده است (Liu et al. 2008; Tang 2019). شکل (۴-ب) نیز نشان می‌دهد که در نیمرخ‌هایی که نزدیک توده گیاهی قرار داشتند (نیمرخ موجود در ساحل راست و ساحل چپ) پدیده پایین‌افتادگی جریان رخ داده است و با فاصله گرفتن از توده

جدول ۴- ضریب مانینگ کل و ضریب مانینگ ناشی از توده گیاهی در هر یک از مقاطع اندازه‌گیری شده

Table 4 Total Manning coefficient and Manning coefficient due to vegetation patch in each of the measured sections

Reach	section number	$a$	$k_s$ (m)	$S_e$	$n_{tot}$	$n_0$	$n_4$	$(n_4/n_{tot}) \times 100$
Shpur1	1	13.97	0.133	0.0007	0.048	0.0294	0.186	39
	2	13.33	0.121	0.0063	0.1501	0.0292	0.1209	81
	3	13.28	0.139	0.0091	0.1468	0.0309	0.1161	79
	4	13.10	0.134	0.0004	0.0072	0.0288	-0.0025	-9
	5	13.12	0.118	0.0031	0.0715	0.0301	0.0413	58
Shpur2	1	14.17	0.142	0.0005	0.0391	0.0301	0.0089	23
	2	13.80	0.134	0.0016	0.0630	0.0297	0.0333	53
	3	13.49	0.112	0.0004	0.0356	0.0283	0.0073	20
	4	13.16	0.125	0.0012	0.0643	0.0291	0.0351	50
Fahlyan	1	13.14	0.114	0.0036	0.1378	0.0297	0.1081	78
	2	12.77	0.104	0.0005	0.0635	0.0290	0.0345	54
	3	13.03	0.102	0.0016	0.1270	0.0286	0.0984	77
	4	12.77	0.113	0.0002	0.0376	0.0296	0.0080	21
	5	12.74	0.106	0.0001	0.0282	0.0294	-0.0012	-4
Dalaki	1	12.92	0.094	0.0034	0.0587	0.0282	0.0306	52
	2	12.68	0.114	0.0035	0.0412	0.0305	0.0106	26
	3	12.97	0.114	0.0064	0.0420	0.0312	0.0108	26
	4	13.89	0.115	0.0097	0.0863	0.0299	0.0564	65
	5	14.41	0.118	0.0085	0.0466	0.0307	0.0159	34

شود به‌طور میانگین ۲۳٪ بزرگ‌تر از حالتی است که توده گیاهی در نظر گرفته نشود. (Green (2005) با بررسی و اندازه‌گیری میدانی ۲۸ بازه از چهار رودخانه دارای توده گیاهی، میانگین درصد مشارکت توده گیاهی از ضریب مانینگ کل را ۶۴٪ گزارش کرد و نشان داد که با در نظر گرفتن اثر توده گیاهی مقدار ضریب مانینگ به‌طور متوسط ۲۹۰٪ بزرگ‌تر از حالتی است که توده گیاهی در نظر گرفته نشود. (Rizalighadi (2019) به بررسی تأثیر ارتفاع و تراکم پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر از نوع Sweet flag در آزمایشگاه پرداخت و نشان داد که تراکم و ارتفاع پوشش گیاهی به‌طور معنی‌داری بر ضریب مانینگ تأثیر می‌گذارد و افزایش تراکم و ارتفاع پوشش گیاهی باعث کاهش سرعت و افزایش ضریب مانینگ می‌شود. ضریب مانینگ در حالت دارای پوشش

با توجه به جدول (۴) در دو مقطع از ۱۹ مقطع (مقطع شماره ۴ از بازه شاپور ۱ و مقطع شماره ۵ از بازه فهلیان) مقدار ضریب مانینگ ناشی از توده گیاهی ( $n_4$ ) منفی به‌دست‌آمده است. (Green (2005) علت منفی شدن این ضریب را فرضیات و ساده‌سازی‌های انجام‌شده برای به دست آمدن رابطه (۴)، خطاهای اندازه‌گیری و ارائه بیش‌ازحد واقعی رابطه<sup>۱</sup> مربوط به  $n_0$  بیان کرده است. با توجه به این جدول میانگین درصد مشارکت توده گیاهی از ضریب مانینگ کل ۴۴٪ محاسبه شد که اهمیت در نظر گرفتن توده گیاهی در محاسبه ضریب مانینگ را نشان می‌دهد. همچنین مقدار ضریب مانینگ در حالتی که توده گیاهی در نظر گرفته

<sup>1</sup> Overestimation

۱- به‌طور میانگین درصد مشارکت توده گیاهی از مقاومت جریان کل ۴۴٪ به‌دست‌آمد که این موضوع نشان‌دهنده ایجاد ورود خطای قابل‌توجهی در محاسبه پارامترهای هیدرولیکی مانند سرعت و برآوردهای نادرست در پیش‌بینی مدل‌های هیدرولیکی در صورت عدم در نظرگیری توده گیاهی در میزان کل مقاومت جریان می‌شود.

۲- برای سنجش اثر تراکم بر ضریب مانینگ ناشی از توده گیاهی از فاکتور انسداد مقطعی استفاده شد و یک رابطه با ضریب تعیین مناسب برای محاسبه ضریب مانینگ ناشی از توده گیاهی به دست آمد.

۳- بررسی ۷۱ نیمرخ سرعت اندازه‌گیری شده نشان داده شد که در نزدیکی توده گیاهی در نیمرخ‌های سرعت، پدیده پایین‌افتادگی جریان رخ می‌دهد.

۴- در نیمرخ‌هایی که از توده‌های گیاهی فاصله زیادی داشتند نیمرخ‌های سرعت حالت S شکل به‌خود می‌گیرد.

با توجه به اینکه فاکتور انسداد سطحی و فاکتور انسداد حجمی برای کل بازه تعریف می‌شوند و در این پژوهش تنها چهار بازه مورد بررسی قرار گرفته است؛ بنابراین امکان بررسی دقیق تأثیر این ضرایب بر ضریب مانینگ ناشی از توده گیاهی در این پژوهش وجود نداشت که پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی با در نظر گرفتن تعداد بازه‌های بیش‌تر مدنظر قرار گیرد.

### سیاسگزاری

این مقاله از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد با کد ثبت ۲۷۹۳۵۹۴ دفاع شده از دانشگاه علم و صنعت ایران استخراج شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از هیئت داوران پایان‌نامه (جناب آقای دکتر ابراهیم جباری و دکتر امیر احمد دهقانی) که ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام کنند.

### دسترسی به داده‌ها

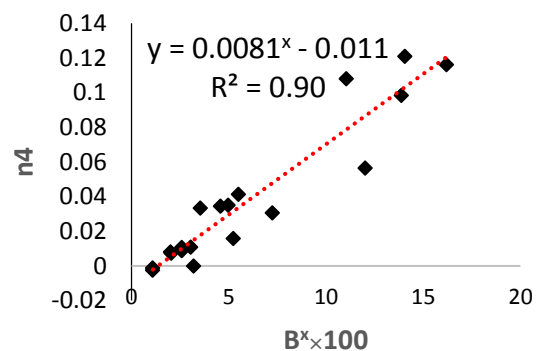
داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسؤل از طریق ایمیل قابل‌ارسال می‌باشد.

### تضاد منافع نویسندگان

نویسنده این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نوشتن و یا انتشار این مقاله ندارد.

گیاهی در محدوده ۰/۰۴۲ تا ۰/۰۶۴ به‌دست‌آمد؛ درحالی‌که در حالت بدون پوشش گیاهی ۰/۰۳۱ به‌دست‌آمد که این نشان‌دهنده افزایش ۴۰٪ تا ۱۱۰٪ در ضریب مانینگ جریان دارای پوشش گیاهی در مقایسه با حالت بدون پوشش گیاهی است. در این پژوهش برای سنجش اثر تراکم بر ضریب مانینگ ناشی از توده گیاهی از فاکتور انسداد مقطعی ( $B^X$ ) (سطحی از مقطع که توسط توده گیاهی اشغال شده است) استفاده شده است. با بررسی‌های انجام‌شده مشخص شد که رابطه خطی بیش‌ترین ضریب تعیین ( $R^2$ ) را بین ضریب مانینگ ناشی از توده گیاهی و فاکتور انسداد مقطعی نشان می‌دهد. بر اساس شکل (۵) رابطه بین ضریب مانینگ ناشی از توده گیاهی با فاکتور انسداد مقطعی به‌صورت رابطه (۹) با ضریب تعیین  $R^2 = 0.90$  می‌باشد. در این پژوهش فاکتور انسداد مقطعی در محدوده ۰/۱۷\_۱٪ قرار داشت. Green (2005) نیز یک رابطه خطی را بین ضریب مانینگ ناشی از توده گیاهی و فاکتور انسداد مقطعی برای محدوده  $15\% < B^X < 65\%$  گزارش کرد.

$$n_4 = 0.0081B^X - 0.011 \quad (9)$$



شکل ۵- ضریب مانینگ ناشی از توده گیاهی در مقابل ضریب انسداد مقطعی

Fig. 5 Manning coefficient due to vegetation patch versus cross-sectional blocking coefficient

### ۴- نتیجه‌گیری

یکی از مسائل چالشی در مهندسی رودخانه برآورد مقامت جریان ناشی از توده گیاهی در رودخانه‌های کوهستانی است. برآورد دقیق مقاومت جریان در برنامه‌های مدیریتی رودخانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر اساس این ضرورت در این پژوهش به بررسی مقاومت جریان ناشی از توده گیاهی و نیمرخ‌های سرعت در ۱۹ مقطع از رودخانه‌های با بستر درشت‌دانه از استان فارس و بوشهر پرداخته شد. نتایج نشان داد:

## References

- Afzalimehr, H. and Subhasish, D. E. Y. (2009). Influence of bank vegetation and gravel bed on velocity and Reynolds stress distributions. *International J. Sediment Res.*, 24(2), 236-246. DOI: [10.1016/S1001-6279\(09\)60030-5](https://doi.org/10.1016/S1001-6279(09)60030-5)
- Afzalimehr, H., Maddahi, M. R., Naziri, D. and Sui, J. (2019). Effects of non-submerged boulder on flow characteristics—a field investigation. *Int. J. Sediment Res.*, 34(2), 136-143. DOI: [10.1016/j.ijsrc.2018.10.007](https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2018.10.007)
- Amini, A., Bahrami, J. and Miraki, A. (2021). Effects of dam break on downstream dam and lands using GIS and Hec Ras: a decision basis for the safe operation of two successive dams. *Int. J. River Basin Manage.*, 20(4), 487-498. DOI: [10.1080/15715124.2021.1901728](https://doi.org/10.1080/15715124.2021.1901728)
- Box, W., Järvelä, J. and Västilä, K. (2021). Flow resistance of floodplain vegetation mixtures for modelling river flows. *J. Hydrol.*, 601, 126593. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2021.126593](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126593)
- Brierley, G. J. and Fryirs, K. A. (2013). *Geomorphology and river management: applications of the river styles framework*. John Wiley and Sons. *Aqua. Conserv. Marine Freshwater Ecosyst.*, 16(3), 267-288. DOI: [10.1002/aqc.724](https://doi.org/10.1002/aqc.724)
- Chaudhry, M. H. (2007). *Open-channel flow*. Springer Science and Business Media.
- D'Ippolito, A., Calomino, F., Alfonsi, G. and Lauria, A. (2021). Flow resistance in open channel due to vegetation at reach scale: a review. *Water*, 13(2), 116. DOI: [10.3390/w13020116](https://doi.org/10.3390/w13020116)
- Green, J. C. (2005). Comparison of blockage factors in modelling the resistance of channels containing submerged macrophytes. *River Res. Appl.*, 21(6), 671-686. DOI: [10.1002/rra.854](https://doi.org/10.1002/rra.854)
- Järvelä, J. (2001). Flow resistance of flexible and stiff vegetation: a flume study. In *European Geophysical Society XXVI General Assembly, Nice, France, 25-30.3. 2001* (p. 1). DOI: [10.1016/S0022-1694\(02\)00193-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00193-2)
- Liu, D., Diplas, P., Fairbanks, J. D. and Hodges, C. C. (2008). An experimental study of flow through rigid vegetation. *J. Geophys. Res. Earth Surf.*, 113(F4). DOI: [10.1029/2008JF001042](https://doi.org/10.1029/2008JF001042)
- Marsooli, R., Orton, P. M. and Mellor, G. (2017). Modeling wave attenuation by salt marshes in Jamaica Bay, New York, using a new rapid wave model. *J. Geophys. Res. Ocean.*, 122(7), 5689-5707. DOI: [10.1002/2016JC012546](https://doi.org/10.1002/2016JC012546)
- Naderi, M., Afzalimehr, H. A. and Sohrabi, S. (2021). Investigation of three-parameter flow resistance model in coarse-bed rivers (Case Study: Deryuk River). *Iran. J. Soil Water Res.*, 52(5), 1423-1435 [In Persian]. DOI: [10.22059/ijswr.2021.318889.668896](https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.318889.668896)
- Nepf, H. M. (2012). Hydrodynamics of vegetated channels. *J. Hydraul. Res.*, 50(3), 262-279. DOI: [10.1080/00221686.2012.696559](https://doi.org/10.1080/00221686.2012.696559)
- Nosrati, K., Afzalimehr, H., and Sui, J. (2022). Drag Coefficient of Submerged Flexible Vegetation Patches in Gravel Bed Rivers. *Water*, 14(5), 743. DOI: [10.3390/w14050743](https://doi.org/10.3390/w14050743)
- Okhravi, S., and Gohari, S. (2018). Determination of Form Friction Factor of Armored Gravel-Beds Rivers. *J. Hydraul.* 13(3), 1-16. [In Persian]. DOI: [10.30482/jhyd.2018.81351](https://doi.org/10.30482/jhyd.2018.81351)
- Okhravi, S. and Gohari, S. (2020). Form friction factor of armored riverbeds. *Canadian J. Civil Eng.*, 47(11), 1238-1248. DOI: [10.1139/cjce-2019-0103](https://doi.org/10.1139/cjce-2019-0103)
- Rizalighadi, M. (2019). The effect of density and height of vegetation in open channel on the Manning's coefficient. In *MATEC web of conferences* (Vol. 258, p. 01002). EDP Sciences. DOI: [10.1051/mateconf/201925801002](https://doi.org/10.1051/mateconf/201925801002)
- Rouse, H. (1965). Critical analysis of open-channel resistance. *J. Hydraul. Division*, 91(4), 1-23. DOI: [10.1061/JYCEAJ.0001270](https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0001270)
- Shafaei, H., Amini, A. and Shirdeli, A. (2019). Assessing submerged vegetation roughness in streambed under clear water condition using physical modeling. *Water Resour.*, 46(3), 377-383. DOI: [10.1134/S0097807819030084](https://doi.org/10.1134/S0097807819030084)
- Shahiri Tabarestani, E., Afzalimehr, H., and Sui, J. (2022). Assessment of annual erosion and sediment yield using empirical methods and validating with field measurements—A Case Study. *Water*, 14(10), 1602. DOI: [10.3390/w14101602](https://doi.org/10.3390/w14101602)

- Shields Jr, F. D., Coulton, K. G. and Nepf, H. (2017). Representation of vegetation in two-dimensional hydrodynamic models. *J. Hydraul. Eng.*, 143(8), 02517002. DOI: [10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001320](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001320)
- Sohrabi, S. (2019). Estimation of Drag coefficient within emergent vegetation using Various Densities in rivers. M.Sc. Dessirtation, University of Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. 173 pp [In Persian].
- Tang, X. (2019). Evaluating two-layer models for velocity profiles in open-channels with submerged vegetation. *J. Geosci. Environ. Protect.*, 7(01), 68. DOI: [10.4236/gep.2019.71006](https://doi.org/10.4236/gep.2019.71006)
- Van Dijk, W. M., Teske, R., Van de Lageweg, W. I. and Kleinhans, M. G. (2013). Effects of vegetation distribution on experimental river channel dynamics. *Water Resour. Res.*, 49(11), 7558-7574. DOI: [10.1002/2013WR013574](https://doi.org/10.1002/2013WR013574)

---

**How to cite this paper:**

Naderi, M., Afzalimehr, H. and Dehghan, A. (2022). Field investigation of flow resistance due to vegetation patch (Case study: Shapur, Fahlian, and Dalaki Rivers). *Environ. Water Eng.*, 9(2), 271-285. DOI: [10.22034/jewe.2022.330228.1729](https://doi.org/10.22034/jewe.2022.330228.1729)

---