

Research Paper

Experimental Study on the Impact of Flexible Floodplain Vegetation on Longitudinal Dispersion Coefficient in Meandering Channels

Zahra Heidari Hanaee¹, Reza Mohammadpour^{2*}

1. PhD Student, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Estahban branch, Iran

2*. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Estahban branch, Iran

Received: 2024/03/18

Revised: 2024/06/05

Accepted: 2024/09/29

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.71632/wej.2025.1167663](https://doi.org/10.71632/wej.2025.1167663)

Keywords:

Dispersion coefficient , compound channel , floodplain , meandering channel , pollution

Abstract

Introduction: Pollution in rivers can eradicate biological species and pose significant threats to urban areas and human communities, making it crucial to understand how pollution spreads in these waterways. Most research on pollution dispersion coefficients has focused on solid vegetation; this study innovatively explores the effect of flexible vegetation in floodplains on longitudinal dispersion in compound meandering sections.

Methods: Experiments were conducted in a 60-meter-long, 1.2-meter-wide, and 0.5-meter-high curved flume, with a 0.6-meter-wide vegetative cover at a density of 0.785 using flexible plants.

Findings: Results indicate that flexible vegetation in the floodplain reduces dispersion there but increases it in the main channel. Flow depth significantly influences the dispersion coefficient at low relative depths, the average dispersion coefficient in vegetated channels is 32.6% higher than in un-vegetated ones. However, as relative depth increases to about 0.2, the dispersion coefficients in both channels equalize. With further increases in relative depth, the dispersion coefficient in un-vegetated channels surpasses that in vegetated ones, unlike in compound channels without vegetation, where dispersion coefficients in the floodplain decrease and in the main channel increase with depth.

Citation: Heidari Hanaee Z, Mohammadpour R. Experimental Study on the Impact of Flexible Floodplain Vegetation on Longitudinal Dispersion Coefficient in Meandering Channels. Water Resources Engineering Journal. 2025; 18 (67): 57- 72.

***Corresponding author:** Reza Mohammadpour

Address: Dept. of Civil Engineering, Islamic Azad University, Estahban branch, Iran

Tell: +989173134112

Email: Reza564@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Chemical, organic, and industrial pollution can lead to the reduction or complete elimination of biological species. On the other hand, the transfer of pollution can lead to water contamination for various purposes. Although all plants are flexible, the most research in the dispersion of pollution has been related to solid plants. Therefore it is necessary to study flexible plants in this field. Innovation of this research is to investigate the flexible plant on pollution dispersion coefficient in compound channel sections. To evaluate the flow depth on the longitudinal dispersion coefficient, various experiments were conducted and the longitudinal dispersion coefficient in the flood plain, main channel, and their averages were collected. Finally, a comparison was made between the results of the dispersion coefficient in compound channels with flexible vegetation and without it.

Materials and Methods

The experiments were conducted in the hydraulic research laboratory of the Water Engineering Department of the Agriculture Faculty at Shiraz University. As shown in Figure 1, the flume has a straight length of 60 meters, a width of 1.2 meters, and a height of 0.5 meters. In order to fully develop the flow region, the first 10 meters of the flume were considered straight. The walls of the flume are made of aluminium, and the bottom of the flume is made of concrete.



Figure 1) experimental flume in present study

As shown in Figure 2, the ratio of the width of the main channel to the width of flood plain is 1.0, and this ratio remains constant along the channel. Additionally, due to the placement of flood plain on the right side of the channel, the cross-section of this channel is of the asymmetric compound type. The walls of flood plain and the main channel are considered vertical. The longitudinal slope of the main channel and flood plain bed is constant at 0.008. In all experiments, by injecting dye into the channel from a specific location, the flow causes the movement of the pollution cloud downstream. To simulate the vegetation, disk-like plates with a diameter of 10 millimeters were used. The experiments were conducted in two groups: with and without vegetation cover. For comparison of the dispersion coefficient, two types of arrangements, five-row and random, were considered. It should be noted that in both arrangements, the number of vegetation was 665. The vegetation were considered in the middle of meander. This number of elements corresponds to 0.785 density. The details of the experiments are presented in Table 1.

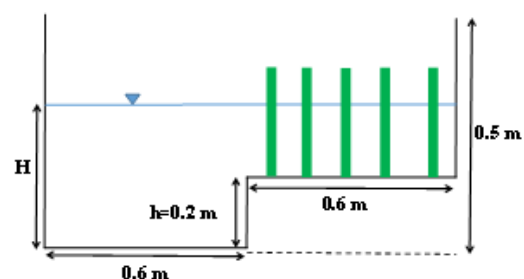


Figure 2) Cross section of experimental flume

Table 1) List of all experiments in present study

Test number	Water depth in floodplain h (m)	Relative depth Dr	Discharge (m ³ /s)	Density ϕ (%)	Vegetation
1	0.025	0.10	0.027	-	No vegetation
2	0.035	0.15	0.030	-	No vegetation
3	0.05	0.20	0.035	-	No vegetation
4	0.07	0.25	0.040	-	No vegetation
5	0.085	0.30	0.047	-	No vegetation
6	0.025	0.10	0.027	0.785 %	five rows of vegetation
7	0.035	0.15	0.030	0.785 %	five rows of vegetation
8	0.05	0.20	0.035	0.785 %	five rows of vegetation
9	0.07	0.25	0.040	0.785 %	five rows of vegetation
10	0.085	0.30	0.047	0.785 %	five rows of vegetation
11	0.025	0.10	0.027	-	Random vegetation
12	0.035	0.15	0.030	-	Random vegetation
13	0.05	0.20	0.035	-	Random vegetation
14	0.07	0.25	0.040	-	Random vegetation
15	0.085	0.30	0.047	-	Random vegetation

Findings

The dispersion coefficient for flood plain (KFP) and the main channel (KMC) were calculated separately due to the different flow conditions in the main channel and flood plain. By averaging the obtained values, the longitudinal dispersion coefficient for the entire compound section

(KAve.) was determined for each experiment. The results of measuring the average longitudinal dispersion coefficients at the main channel and flood plain for experiments without and with the presence of five-row and random vegetation cover are presented in Table 2.

Table 2) longitudinal dispersion coefficient in flume

Test number	Vegetation	Relative depth (Dr)	K-FP (cm ² /s)	K-MC (cm ² /s)	K-Ave (cm ² /s)	KFP/ $U \cdot H$	KMC/ $U \cdot H$	K(Ave)/ $U \cdot H$
6	five rows of vegetation	0.10	165.7	1812	989	2.3	25.25	13.78
7	five rows of vegetation	0.15	121	1261	691	1.16	12.17	6.66
8	five rows of vegetation	0.20	89.5	847.2	468.4	0.57	5.48	3.03
9	five rows of vegetation	0.25	114	664.3	385.2	0.5	2.92	1.69
10	five rows of vegetation	0.30	123.9	426	275	0.44	1.52	0.98
11	Random vegetation	0.10	281.9	2339	1310	3.93	32.6	18.28
12	Random vegetation	0.15	187.9	1481	834.7	1.81	14.3	8.05
13	Random vegetation	0.20	158.9	983.9	571.4	1.03	6.37	3.7
14	Random vegetation	0.25	195.4	777.6	486.5	0.86	3.41	2.14
15	Random vegetation	0.30	239	705.8	472.4	0.85	2.13	1.69

As shown in Figure 3, the dimensionless dispersion coefficient ($K/U \cdot H$) changes with

relative depth for a channel with five-row vegetation. In this figure, the dispersion

coefficient for the flood plain, the main channel, and their average are presented. The dispersion coefficient in the main channel is always greater than that in the flood plain, such that at a relative depth of 0.1, the dispersion coefficient values for the main channel and flood plain are 25.3 and 2.3 respectively. The results indicate that as the relative depth increases, the dimensionless coefficient decreases and becomes approximately equal. For example, at a relative depth of 0.3, the dimensionless coefficient in the main channel and flood plain are 1.5 and 0.4 respectively.

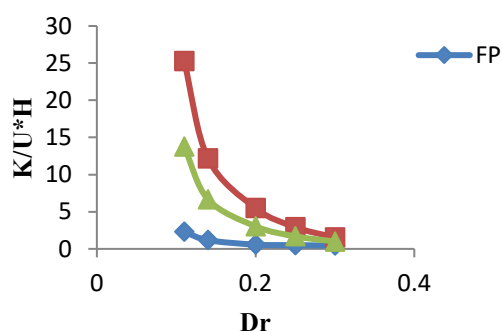


Figure 3) dimensionless dispersion coefficient for a channel with five-row vegetation

Figure 4 shows a comparison between the dimensionless dispersion coefficients in a channel with random vegetation. The trend of dispersion coefficient in this type of vegetation is similar to the five-row vegetation cover. The dispersion coefficient decreasing with increasing relative depth. The dimensionless coefficient at a relative depth of 0.1 for the main channel and flood plain are 32.5 and 3.9, respectively. The results indicate that as the relative depth increases, the dimensionless coefficient decreases and becomes approximately equal. For example, at a relative depth of 0.3, the dimensionless coefficient in the main channel and flood plain are 1.5 and 0.4, respectively. Additionally, with an increase in relative depth from 0.10 to 0.30, the dimensionless coefficient decreases by 89.6% in the flood plain and 92% in the main channel. It is worth mentioning that the average dimensionless dispersion coefficient values in the random vegetation

cover are higher than those in the five-row vegetation cover. These values for a relative depth of 0.1 in random vegetation cover and five-row cover are 18.25 and 13.78, respectively.

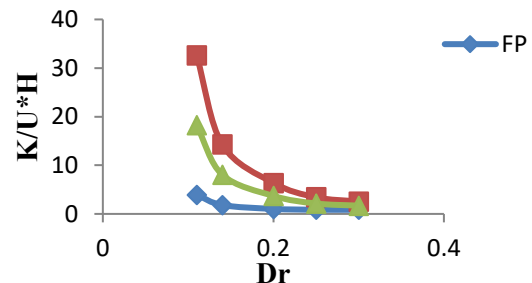


Figure 4) dimensionless dispersion coefficient for a channel with random vegetation

Discussion

The results indicate clear differences between the dispersion behavior in the main channel and the floodplain. The larger dispersion coefficients observed in the main channel are mainly due to its higher flow velocity and greater turbulence intensity, which enhance longitudinal mixing. In contrast, the floodplain experiences slower flow and reduced shear, particularly under vegetated conditions, limiting the exchange of momentum and solute between sections. As relative depth increases, the reduction of the dimensionless coefficient reflects decreasing turbulence and weaker interaction between the main channel and floodplain. The convergence of coefficients at higher relative depths suggests that, beyond certain submergence levels, the vegetation's resistance effect becomes less dominant and the flow attains a more uniform structure across the compound section.

The comparison between random and five-row vegetation patterns demonstrates that random vegetation causes slightly higher average dispersion due to more irregular vortex formation and localized flow disturbances. These patterns promote higher mixing rates compared to the

regularly spaced rows, which confine the turbulence more uniformly.

Overall, the findings confirm that vegetation structure significantly influences longitudinal dispersion in compound channels. Such insights can help in designing natural and artificial floodplains with optimized vegetation layouts to control solute transport and improve water quality management.

Conclusion

River pollution can lead to the complete elimination of biological species as well as serious threats to cities and human communities. Therefore, awareness of how pollution spreads in rivers is very important. Thus, the innovation of this research examines the flexible vegetation on the longitudinal dispersion coefficient in the bends of compound channel. Experiments were conducted in a flume with a length of 60 meters, width of 1.2 meters, and height of 0.5 meters. The flexible vegetation causes a change in the dispersion coefficient in such a way that the effect is very noticeable at low relative depths, and with an increase in relative depth, the dispersion coefficient decreases in the channel. In conclusion, the comparison of results showed that the use of flexible vegetation will result in a reduction in the dimensionless dispersion coefficient compared to rigid vegetation cover.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Reza Mohammadpour and Zahra Heidari Hanaee
Methodology, Data analysis and Supervision: Reza Mohammadpour. Final writing: Zahra Heidari Hanaee.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

مطالعه آزمایشگاهی تاثیر پوشش گیاهی انعطاف پذیر دشت سیلابی بر ضریب انتشار طولی در کانال های مئاندر

زهرا حیدری حنائی^۱، رضا محمد پور^{۲*}^۱. دانشجوی دکتری آب و سازه های هیدرولیکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان، ایران^۲. استادیار گروه آب واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان، ایران

چکیده

مقدمه: آلودگی رودخانه می تواند موجب از بین بردن کامل گونه های زیستی و همچنین تهدیدهای جدی برای شهرها و جوامع انسانی باشد، بنابراین آگاهی از نحوه پخش آلودگی در رودخانه ها بسیار حائز اهمیت است. با توجه به اینکه اکثر تحقیقات انجام شده پیرامون ضریب انتشار آلودگی مربوط به گیاهان صلب بوده لذا نوآوری این تحقیق بررسی تاثیر پوشش گیاهی انعطاف پذیر در دشت سیلابی بر ضریب انتشار طولی در مقاطع مئاندر مرکب است

روش: آزمایش ها در یک کانال قوسی شکل به طول ۶۰ متر، عرض ۱/۲ متر و ارتفاع ۰/۵ متر انجام شد. پوشش گیاهی در قسمت دشت سیلابی به عرض ۰/۶ متر و با تراکم ۰/۷۸۵. با استفاده از گیاهان انعطاف پذیر انجام شد.

یافته ها: نتایج نشان می دهد که پوشش گیاهی انعطاف پذیر در قسمت دشت سیلابی موجب کاهش پخشیدگی در دشت سیلابی و افزایش آن تا حدود ۸ برابر در کانال اصلی کانال می گردد. در عمق نسبی کم، ضریب متوسط انتشار طولی در کانال های با پوشش گیاهی ۳۲/۶٪ بیشتر از کانال های بدون پوشش گیاهی است. این در حالی است که با افزایش عمق نسبی و در عمق نسبی حدود ۰/۲ ضریب انتشار طولی در دشت سیلابی و کانال اصلی برابر خواهد بود. با افزایش مجدد عمق نسبی میزان ضریب انتشار در کانال های بدون پوشش گیاهی بیشتر از کانال های با پوشش گیاهی می گردد. این در حالی است که در کانال های مرکب بدون پوشش گیاهی ضریب انتشار طولی در دشت سیلابی و کانال اصلی با افزایش عمق نسبی به ترتیب روند افزایشی و کاهش دارد.

نتیجه گیری: یافته ها نشان دادند که حضور پوشش گیاهی انعطاف پذیر در دشت سیلابی، موجب کاهش چشمگیر پراکندگی در ناحیه دشت سیلابی شده، اما همزمان باعث افزایش پراکندگی در کانال اصلی گردید که این امر نشان دهنده تغییر عمده در مکانیزم انتقال جرمی است. در نهایت، ساختار پوشش گیاهی (از جمله انعطاف پذیری و چیدمان) عاملی تعیین کننده در مدیریت انتقال آلاینده ها در سیستم های رودخانه ای است و باید در مدل سازی های هیدرودینامیکی لحاظ گردد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸

تاریخ داوری: ۱۴۰۳/۰۳/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۸

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.71632/wej.2025.1167663](https://doi.org/10.71632/wej.2025.1167663)

واژه های کلیدی:

ضریب انتشار، کانال مرکب، دشت سیلابی، کانال مئاندر، آلودگی.

* نویسنده مسئول: رضا محمدپور

نشانی: استادیار گروه آب واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان، ایران.

تلفن: ۰۹۱۷۳۱۳۴۱۱۲

پست الکترونیکی: reza564@gmail.com

مقدمه

با توجه به افزایش هزینه های انرژی و تغییرات جوی کشورهای در حال توسعه و صنعتی، آلودگی یکی از مسائل مهم در این کشورها می باشد (۱).

آلودگی شیمیایی، آلی و صنعتی می تواند باعث کاهش و یا از بین بردن کامل گونه های زیستی گردد. از طرفی انتقال آلودگی به سمت پایین دست سبب آلوده شدن آب برای مصارف گوناگون می شود، بنابراین مطالعه و بررسی نحوه انتقال و جابه جایی آلودگی و همچنین ساز و کار پخش و انتقال آلاینده ها در مباحث مدیریت کیفی و سلامت آبراهه ها حائز اهمیت است (۲). هنگامی که یک منبع آلودگی به داخل آب رها می شود به علت حرکت مولکولی و تلاطم و غیر یکنواختی سرعت در سطح مقطع جریان، سریعاً در آب پخش و همراه با جریان آب جابجا می شود. مکانیسم پخش و حرکت آلاینده ها در آب بخش مهمی از دانش محیط زیست بوده که نیاز به پژوهش های متعددی در این زمینه دارد (۳، ۴، ۵).

شهسواری و همکاران (۶) تاثیر پوشش گیاهی انعطاف پذیر مستغرق در دشت سیلابی بر شرایط جریان و نقش آن در کانال های مرکب مناندر در دو عمق نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵ مورد بررسی آزمایشگاهی قرار دادند. نتایج آن ها نشان داد که حضور پوشش گیاهی ظرفیت انتقال در دشت سیلابی را کاهش داده و موجب افزایش دبی در کانال اصلی نسبت به حالت بدون پوشش گیاهی می شود. یانگ و همکاران (۷) به بررسی ویژگی های ضریب پراکندگی در کانال ها با پوشش گیاهی و روابط آن ها با جریان پرداختند. آنها عوامل مختلف و تاثیرگذار بر پوشش گیاهی را به همراه سناریوهای مورفولوژی رودخانه بررسی کردند. نتایج تحقیقات آنها ارائه روش های متفاوتی برای تعیین ضرایب پراکندگی و همچنین توضیحات کاملی برای درک فرآیندها و مفاهیم پراکندگی بوده است.

بطور کلی انرژی جریان و آشفتگی از پارامترهای مهم در طراحی سازه های هیدرولیکی بوده که عموماً بصورت مدل سازی عددی و یا آزمایشگاهی بررسی شده اند (۸، ۹، ۱۰، ۱۱). محمدپور و همکاران (۱۲) به بررسی ضریب زبری در کانال های زیر سطحی به عنوان یک از پارامترهای مهم در پخش آلودگی پرداختند. آنها رابطه ای را برای پیش بینی ضریب زبری در این نوع کانال ها ارائه کردند. وانگ و همکاران (۱۳) هیدرودینامیک جریان در کانال U شکل با پوشش گیاهی و نسبت های مختلف تراکم و انحنا را به صورت مدل سازی عددی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که پوشش گیاهی به طور چشمگیری جریان اصلی، جریان ثانویه و ساختارهای متلاطم را پیچ و خم کانال تغییر می دهد. همچنین در این تحقیق مسائل اکو-هیدرومورفیک مرتبط با پوشش گیاهی و جریان آشفته مورد بررسی قرار گرفته است. آصف و همکاران (۱۴) به بررسی عددی رفتار جریان در کانال ها با پوشش گیاهی مستغرق پرداخته اند. در این تحقیق از نرم افزار FLUENT برای درک بهتر رفتار هیدرولیکی در محیط های رودخانه ای با پوشش گیاهی استفاده شده است. نتایج نشان داد که جریان در ناحیه مرکزی کانال کاملاً غیر یکنواخت بوده و گیاهان مستغرق

تأثیر قابل توجهی بر انسداد جریان و درصد دبی عبوری از نواحی مختلف دارند.

تحقیقات جامعی توسط حمیدی فر (۱۵) و همچنین حمیدی فر و همکاران (۱۶) در مورد تاثیر پوشش گیاهی در سیلابدشت بر خصوصیات هیدرولیکی و انتقال آلاینده ها در مقاطع مرکب مستطیلی انجام شده است. آنها با تغییر عمق نسبی (نسبت عمق در سیلابدشت به عمق کل) و تغییر تراکم و آرایش گیاهان به صورت ردیفی و یک در میان، ضریب انتشار طولی و اختلاط عرضی را به صورت آزمایشگاهی در سیلابدشت و کانال اصلی به دست آوردند. نتایج نشان داد که با افزایش عمق نسبی، ضریب بدون بعد انتشار طولی (K/U^*) کاهش می یابد. لازم به توضیح است که K برابر با ضریب انتشار، U^* برابر با سرعت برشی و h عمق آب در سیلابدشت می باشد. نتایج نشان داد که با افزایش تراکم، ضریب انتشار طولی در سیلابدشت کاهش و در کانال اصلی افزایش می یابد. حمیدی فر و همکاران (۲) با استفاده از تکنیک پردازش تصویر به بررسی تاثیر پوشش گیاهی مستغرق و غیرمستغرق بر ضریب اختلاط عرضی در کانال مرکب پرداختند. نتایج نشان داد در هر دو حالت پوشش گیاهی مستغرق و غیرمستغرق ضریب اختلاط عرضی در کانال اصلی و سیلابدشت افزایش می یابد. حمیدی فر و امید (۱۷) با بررسی آزمایشگاهی عمق جریان، چیدمان پوشش گیاهی و همچنین اندرکنش جریان بین کانال اصلی و سیلابدشت بر ضریب انتشار طولی (K)، در یک کانال مرکب را بدست آوردند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که مقدار ضریب K در کانال اصلی از مقدار مربوطه در سیلابدشت بزرگتر بوده و با افزایش عمق نسبی ضریب انتشار طولی روند افزایشی دارد.

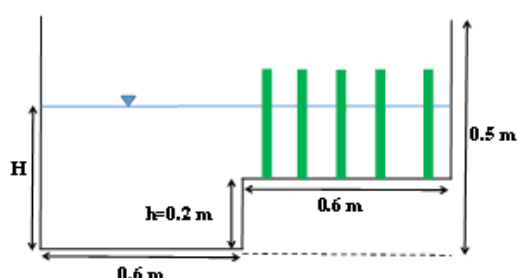
زبردست و همکاران (۱۸) به بررسی تأثیر دبی و ضریب زبری بر ضریب پخشیدگی در کانال های نفوذ پذیر و غیر قابل نفوذ پرداختند. نتایج نشان داد که طول پخشیدگی در بستر نفوذناپذیر بین ۱۰۸ تا ۱۷۰ متر و در بستر نفوذپذیر بین ۹۱ تا ۱۲۹ متر می باشد. همچنین اختلاف طول پخشیدگی بین دو بستر در سطح ۱ درصد معنی دار است و کانالهای کوچک طول پخشیدگی کمتری در حدود ۷۰ متر را دارند. زبردست و همکاران (۱۹) تأثیر دبی و ضریب زبری مختلف بر روی ضریب پخشیدگی عرضی و حداکثر طول پخشیدگی در یک کانال با مقطع سهمی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش دبی ورودی، طول پخشیدگی افزایش و با افزایش ضریب زبری در دبی های ثابت، طول پخشیدگی کاهش می یابد و معادله ای غیرخطی برای ضریب پخشیدگی عرضی ارائه شد. فرزاد خو (۲۰) به برآورد ضریب انتشار طولی آلاینده ها در کانال مرکب با دو ردیف پوشش گیاهی صلب (درخت) روی سیلابدشت پرداخت. نتایج نشان داد وجود دو ردیف درخت روی سیلابدشت به دلیل تقویت جریان برشی (افزایش آشفتگی) بین گیاهان روی سیلابدشت و دیواره سیلابدشت تأثیر زیادی بر ضریب انتشار طولی آلودگی دارد. بر این اساس، وجود درختان در یک عمق نسبی خاص می تواند ضریب انتشار طولی را تا میزان ۲/۳۹ درصد نسبت به حالت بدون پوشش گیاهی افزایش دهد و باعث کاهش غلظت آلودگی در نواحی پایین دست محل تزریق شود. همچنین مطالعات دیگری

لامپ هایی در کف کانال تعبیه شد. در مرحله بعد، با تصویر برداری از تمامی مراحل عبور ماده رنگی و استفاده از پردازش تصویر در نرم افزار MATLAB، تغییرات غلظت بر حسب زمان بررسی گردید.

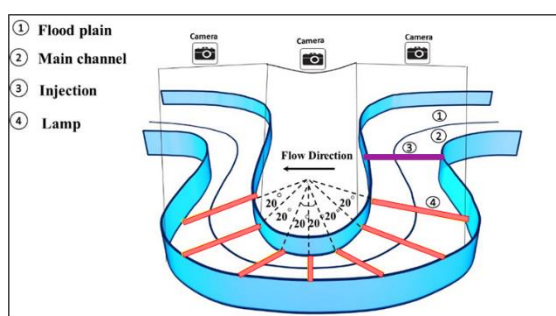


شکل ۱ - نمای کلی فلوم مورد استفاده در پژوهش حاضر

نسبت عرض کانال اصلی به عرض دشت سیلابی برابر ۱/۰ بوده و در طول کانال این نسبت ثابت است، همچنین به دلیل قرار گرفتن دشت سیلابی در سمت راست کانال، مقطع این کانال از نوع مقطع مرکب نامتقارن است. دیواره های دشت سیلابی و کانال اصلی به صورت عمودی در نظر گرفته شد. در شکل ۲ تغییرات ارتفاعی را در جهت عمود بر محور مسیر جریان (مقطع عرضی) نمایش داده شده است. با توجه به اینکه کف کانال بتنی می باشد بنابراین ضریب زبری آن ۰.۰۱۵ بوده و شیب طولی بستر کانال اصلی و سیلابدشت، ثابت و برابر ۰/۰۰۰۸ است (شکل ۲).



شکل ۲- مقطع عرضی کانال مرکب در پژوهش حاضر



شکل ۳-نمای قوس دوم کانال مورد استفاده در

آزمایش های پژوهش حاضر

به منظور شبیه سازی پوشش گیاهی، از ورقه های پلاستیکی (طلق) با قطر ۱۰ میلی متر استفاده شده است. همچنین آزمایش ها در دو گروه بدون پوشش گیاهی و با پوشش گیاهی انجام شده است. جهت مقایسه

جهت تعیین ضریب انتشاری طولی در کانال های داری مناندر توسط فرزاد خو و همکاران (۲۱) انجام شده است.

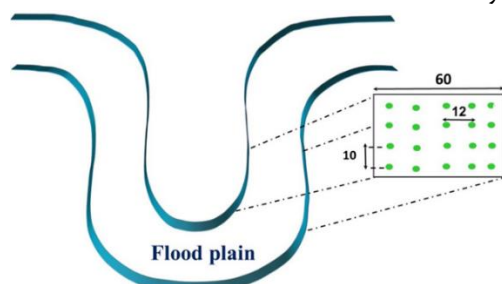
در سالهای اخیر روش های مبتنی بر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در سطح گسترده ای مورد توجه محققان قرار گرفته است (۲۲). ایزدی نیا و همکاران (۲۳) به بررسی پیش بینی ضریب انتشار طولی آلاینده ها در رودخانه ها با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداخته است. نتایج نشان داد که شبکه پرسپترون پیشخور می تواند با دقت مناسبی ضریب را ارائه دهد. از طرفی آنها نشان دادند که نسبت سرعت به سرعت برشی بیشترین تأثیر را بر ضریب انتشار طولی دارد. محمدپور و همکاران (۲۳) با استفاده از روش بردار پشتیبان (SVM) به بررسی کیفیت آب در تالاب ها پرداختند. آنها نشان دادند که این روش قادر است به سرعت و دقت بسیار مناسبی پارامترها آلودگی و کیفیت آب را پیش بینی نماید. نوری و همکاران (۲۴) به پیش بینی ضریب انتشار طولی در رودخانه های طبیعی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. آنها از مدل مبتنی بر توابع آموزش شبه-نیوتنی استفاده کرده و با استفاده از ۱۰۰ سری داده ضریب انتشار را بررسی کرده اند. نتایج آنها نشان می دهد که شبکه های عصبی دارای دقت بالایی برای پیش بینی ضریب انتشار می باشد.

تاکنون اکثر تحقیقات انجام شده مربوط به گیاهان صلب بوده و با توجه به اینکه تمامی گیاهان انعطاف پذیر می باشند، لذا بررسی گیاهان انعطاف پذیر در نحوه پخش آلودگی ضروری می باشد. از طرفی تحقیقات انجام شده بر روی فرآیند پخشیدگی در مقاطع مناندر مرکب بسیار اندک و محدود بوده و با توجه به اینکه اکثر کانالهای مناندر دارای پوشش گیاهی انعطاف پذیر می باشند، لذا بررسی پدیده ی پخش طولی آلاینده ها در مقاطع مرکب منانداری تحت تأثیر پوشش گیاهی انعطاف پذیر یک خلاء تحقیقاتی بوده که بعنوان نوآوری در این تحقیق بررسی شده است. در این مطالعه جهت ارزیابی تأثیر عمق جریان بر ضریب انتشار طولی، آزمایش های متفاوتی با عمق های مختلف انجام شده و ضریب انتشار طولی در دشت سیلابی، کانال اصلی و همچنین میانگین آنها جمع آوری شده است. در انتها نتایج ضریب انتشار در کانال های مرکب با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی با تحقیقات پیشین مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

مواد و روش ها

در پژوهش حاضر آزمایش ها در کانال مناندر واقع در آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شده است. کانال مورد استفاده دارای طول مستقیم ۶۰ متر، عرض ۱/۲ متر و ارتفاع ۰/۵ متر است. به منظور تشکیل ناحیه ی جریان توسعه یافته، ۱۰ متر ابتدای کانال بصورت مستقیم در نظر گرفته شد. در این طول پروفیل های سرعت با مقادیر آن در فواصل فبلی مقایسه شده مشابه بودن پروفیل های سرعت با یکدیگر، نشان داد که جریان بطور کامل توسعه یافته است. این کانال با دیواره ی کانال از جنس فلز آلومینیوم و کف کانال از بتن ساخته شده است (شکل ۱). روش کلی آزمایش بدین شکل است که با تزریق رنگ در کانال از یک محل مشخص، جریان باعث حرکت ابر آلودگی به سمت پایین دست می شود. جهت تصویر برداری از توزیع و پخشیدگی ابر آلودگی، ابتدا

تصویربرداری با دوربین دیجیتال canon مدل A۳۲۰۰ انجام شده و ابر آلودگی با تکنیک پردازش تصویر در نرم افزار متلب مورد بررسی قرار گرفته است. در تکنیک پردازش تصویر، تصاویر ابر آلودگی با دقت یک پیکسل در زمان عبور از قوس کانال استخراج و در برنامه متلب با استفاده از روش پردازش تصویر منحنی تغییرات غلظت آن دریافت می گردد.



شکل ۴- المان های پوشش گیاهی با آرایش پنج ردیفه روی سیلابدشت و تراکم ۰/۷۸۵٪ (ابعاد برحسب سانتی متر)



شکل ۵- تصویر انتشار ماده ردیاب در حالت پوشش گیاهی پنج ردیفه سیلابدشت

جدول ۱- فهرست آزمایش های انجام شده در پژوهش حاضر

وضعیت پوشش	تراکم ϕ (%)	دبی (m^3/s)	عمق نسبی Dr	عمق آب در سیلابدشت h (m)	شماره آزمایش
بدون پوشش	-	۰.۰۲۷	۰.۱۰	۰.۰۲۵	۱
بدون پوشش	-	۰.۰۳۰	۰.۱۵	۰.۰۳۵	۲
بدون پوشش	-	۰.۰۳۵	۰.۲۰	۰.۰۵	۳
بدون پوشش	-	۰.۰۴	۰.۲۵	۰.۰۷	۴
بدون پوشش	-	۰.۰۴۷	۰.۳۰	۰.۰۸۵	۵
پنج ردیف پوشش	۰.۷۸۵ %	۰.۰۲۷	۰.۱۰	۰.۰۲۵	۶
پنج ردیف پوشش	۰.۷۸۵ %	۰.۰۳۰	۰.۱۵	۰.۰۳۵	۷
پنج ردیف پوشش	۰.۷۸۵ %	۰.۰۳۵	۰.۲۰	۰.۰۵	۸
پنج ردیف پوشش	۰.۷۸۵ %	۰.۰۴۰	۰.۲۵	۰.۰۷	۹

ضریب پخش آلودگی، دو نوع چیدمان پنج ردیفه و تصادفی در نظر گرفته شده است. لازم به توضیح است که در هر دو آرایش، تعداد المان پوشش گیاهی برابر و مقدار آن ۶۶۵ عدد بوده و تنها تفاوت در نحوه چیدمان پوشش گیاهی می باشد. لازم به توضیح است المان های پوشش گیاهی در قوس وسط قرار گرفتند و المان ها به گونه ای در آرایش ردیفی قرار داده شده اند که به صورت پنج ردیف موازی با فاصله ۳۰ میلی متر از مرز مشترک کانال اصلی و سیلابدشت قرار گرفته است (شکل ۴). با توجه به اینکه فاصله طولی و عرضی بین گیاهان به ترتیب برابر با ۱۲ و ۱۰ سانتی متر می باشد بنابراین در یک متر طول کانال تعداد ۶۰ گیاه کاشته شد. از آنجائیکه قطر گیاهان برابر ۱۰ میلی متر و مساحت آنها برابر با ۰.۷۸۵ سانتی متر مربع می باشد بنابراین تراکم گیاهان در یک متر طول کانال که عرض آن برابر با ۶۰ سانتی متر می باشد برابر است با $0.00718 = (60 \times 100) / (60 \times 0.718)$ ، به این ترتیب تراکم (۲) برابر با ۰.۷۸۵ درصد است. جزییات آزمایش ها در جدول ۱ ارائه شده است. تعداد کل آزمایش ها برابر با ۱۵ مورد بوده است که از آزمایش شماره ۱ الی ۵ جهت کانال مرکب بدون پوشش گیاهی، از آزمایش شماره ۶ الی ۱۰ جهت کانال مرکب با پوشش گیاهی پنج ردیفه و آزمایش شماره ۱۱ الی ۱۵ جهت کانال مرکب با پوشش گیاهی تصادفی انجام شد. به منظور بررسی ضریب انتشار طولی در مقاطع مناندر مرکب تزریق مادهی رنگی بایستی به صورت خطی - عرضی باشد، به گونه ای که در تمام عرض کانال به یک باره مادهی رنگی در کل عرض کانال پخش شود. این روش تزریق به منظور استفادهی حداکثر از طول کانال است، زیرا پدیدهی ضریب انتشار طولی زمانی اتفاق می افتد که پخشیدگی به صورت کامل در عرض و عمق انجام شده باشد بدین منظور با تزریق خطی - عرضی، پخشیدگی به صورت عرضی به طور کامل انجام شده است و بعد از تزریق آبی پخشیدگی به صورت عمقی که بسیار سریع و در طول کم به علت کم بودن عمق آب در شرایط آزمایشگاهی به نسبت رودخانه های طبیعی اتفاق می افتد، پخشیدگی در طول آغاز می شود و انتشار طولی عامل مهم رقیق سازی و جابه جایی آلاینده و محو کامل تغییرات در طول مسیر می شود. بنابراین لازم است اولین ایستگاه مورد بررسی برای اندازه گیری غلظت و ضریب انتشار طولی به گونه ای انتخاب شود که مادهی رنگی تزریق شده به صورت کامل در عمق انتشار یابد. با توجه به آزمایش های ابتدایی انجام شده و مشاهدات عینی در طول ۱/۵ متر بعد از تزریق خطی ماده رنگی به علت جریان های ثانویه قوی که در مقاطع مناندر مرکب وجود دارد، به صورت کامل در عمق در سیلابدشت و کانال اصلی پخش شده است. در آزمایشات سعی شده است که ایستگاه های مورد بررسی به گونه ای نزدیک باشد که چگونگی تغییر غلظت مادهی ردیاب را در کانال مناندر مرکب که دارای سیستم جریانی بسیار پیچیده است با جزئیات کامل مورد بررسی قرار گیرد، بنابراین غلظت مادهی ردیاب در فواصل ۱/۸، ۲/۷۵، ۳/۷، ۴/۶۵، ۵/۶، ۶/۵۵ و ۷/۵ متر در پایین دست محل تزریق اندازه گیری می شود. آزمایش ها با ایجاد ابر آلودگی توسط ماده ی پرمنگنات پتاسیم با غلظت ۱۰ گرم بر لیتر انجام شد. ماده ی ردیاب به صورت لحظه ای توسط یک نیم لوله در کل عرض فلووم تزریق شده است. تغییرات غلظت در سه ایستگاه به صورت عرضی در طول فلووم با

با عبور جریان آب از رودخانه‌ها در مناطق دارای پوشش گیاهی جریان آب تحت تأثیر مقاومت پوشش‌های گیاهی قرار گرفته، سرعت جریان کاهش و در نتیجه عمق جریان افزایش می‌یابد. پوشش گیاهی در بستر و حاشیه رودخانه موجب افزایش زبری مسیر جریان، کاهش میانگین سرعت جریان، کاهش انرژی آب و تغییر توزیع سرعت لایه ای (پروفیل سرعت جریان) در مقطع عرضی رودخانه می‌شود. در پژوهش حاضر نیز شرایط هیدرولیکی و پارامترهای هیدرولیکی کانال مورد مطالعه در چند آزمایش اندازه گیری شده است برآورد شرایط هیدرولیکی در عمق نسبی 0.3، دبی 0.047 مترمکعب بر ثانیه و در حالت بدون پوشش گیاهی، تراکم گیاهی 0.785 درصد و حالت پوشش گیاهی تصادفی انجام و پارامترهای سطح مقطع، شعاع هیدرولیکی، سرعت جریان، عدد فرود و عدد رینولدز محاسبه و در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲ - شرایط هیدرولیکی آزمایشهای انجام شده

عدد رینولدز	عدد فرود	شعاع هیدرولیکی	سرعت (ms ⁻¹)	سطح مقطع (m ²)	دبی (m ³ s ⁻¹)	ضریب زبری	تراکم %	تعداد ردیف	عمق نسبی	شماره آزمایش
26423	0.12	0.13	0.21	0.23	0.047	0.0347	-	-	0.30	2
25380	0.103	0.14	0.18	0.25	0.047	0.0403	0.785	5	0.30	7
25500	0.098	0.15	0.17	0.27	0.047	0.0408	-	-	0.30	12

(۴) محاسبه واریانس زمانی توزیع غلظت- زمان (δ_t^2) از رابطه (۴)
 (۵) محاسبه واریانس مکانی ابر آلودگی (δ_x^2) از رابطه (۵)
 (۶) محاسبه ضریب انتشار طولی (K) از رابطه (۶)
 با توجه به متفاوت بودن شرایط جریان در کانال اصلی و سیلابدشت، ضریب انتشار برای سیلابدشت (FP) و کانال اصلی (MC) به صورت جداگانه محاسبه شده و با میانگین گیری از مقادیر بدست آمده، ضریب انتشار طولی کل مقطع مرکب (K) در هر آزمایش ارائه گردیده است تا به عنوان معیاری برای مقایسه بین آزمایش‌های با شرایط مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

بحث و نتیجه‌گیری

همانگونه که در روابط قبل آمده است (روابط ۱ الی ۶)، در این تحقیق از روش تبادل ممان ساده (استاندارد) برای تعیین ضریب انتشار آلودگی استفاده شده است (۲۲،۸). نتایج تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که در شرایط جریان غیر یکنواخت و یکنواخت، استفاده از این روش نتایج منطقی بدست می‌دهد (۲۵). با توجه به متفاوت بودن شرایط جریان در کانال اصلی و سیلابدشت، ضریب انتشار برای دشت سیلابی (KFP) و کانال اصلی (KMC) به صورت جداگانه محاسبه شده و با میانگین گیری از مقادیر بدست آمده، ضریب انتشار طولی کل مقطع مرکب (Kave) در هر آزمایش ارائه گردید. نتایج حاصل از اندازه گیری میانگین ضریب انتشار طولی در کانال اصلی و روی سیلاب دشت برای آزمایش‌های بدون پوشش گیاهی در جدول (۳) و با حضور پوشش گیاهی پنج ردیفه و تصادفی در جدول (۴) ارائه شده است.

پنج ردیف پوشش	۰.۷۸۵	۰.۰۴۷	۰.۳۰	۰.۰۸۵	۱۰
پوشش تصادفی	۰.۷۸۵	۰.۰۲۷	۰.۱۰	۰.۰۲۵	۱۱
پوشش تصادفی	۰.۷۸۵	۰.۰۳۰	۰.۱۵	۰.۰۳۵	۱۲
پوشش تصادفی	۰.۷۸۵	۰.۰۳۵	۰.۲۰	۰.۰۵	۱۳
پوشش تصادفی	۰.۷۸۵	0.۰۴۰	۰.۲۵	۰.۰۷	۱۴
پوشش تصادفی	۰.۷۸۵	۰.۰۴۷	۰.۳۰	۰.۰۸۵	۱۵

شرایط هیدرولیکی جریان

برای تعیین ضریب انتشار طولی و تأثیر پوشش گیاهی سیلابدشت بر روی آن، با داشتن توزیع زمانی غلظت و استفاده از روابط زیر، توزیع مکانی و در نهایت ضریب K را از روش تبادل ممان ساده (استاندارد) برای شرایط آزمایشگاهی مختلف بدست آورد.

$$M_i = \int t^i c(t) dt \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$m = \frac{M_i}{M_0} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$U_c = \frac{X}{m} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\delta_t^2 = \frac{M_2}{M_0} - \left(\frac{M_1}{M_0}\right)^2 \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\delta_x^2 = \delta_t^2 U_c^2 \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$K = \frac{\delta_x^2}{2m} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که δ_t^2 واریانس زمانی توزیع غلظت- زمان اندازه گیری شده است که با استفاده از روش تبادل ممان که در بالا ذکر شد محاسبه میشود. M_i گشتاور زمانی i ام توزیع غلظت، U_c سرعت متوسط حرکت مرکز جرم ردیاب، X فاصله طولی بین محل تزریق و محل اندازه گیری، μ متوسط زمان پیمایش ابر آلودگی و δ_x^2 واریانس مکانی ابر آلودگی می‌باشد. بنابراین مراحل محاسبه ضریب انتشار طولی به صورت زیر است:

(۱) محاسبه گشتاورهای زمانی غلظت (M_i) از رابطه (۱)

(۲) محاسبه متوسط زمان پیمایش ابر آلودگی (μ) از رابطه (۲)

(۳) محاسبه سرعت متوسط حرکت مرکز جرم ردیاب (U_c) از رابطه (۳)

جدول ۳- ضریب انتشار طولی در دشت سیلابی و کانال اصلی

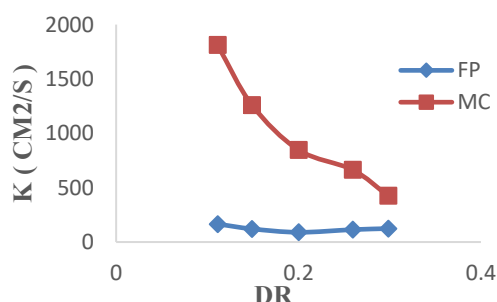
در کانال مناندر مرکب بدون پوشش گیاهی				
شماره آزمایش	عمق نسبی (Dr)	KFP (cm ² /s)	KMC (cm ² /s)	Kave (cm ² /s)
1	0.10	354.3	977.8	666.05
2	0.15	499.9	577.3	538.6
3	0.20	486.4	339.5	413.1
4	0.25	668.9	326.7	497.8
5	0.30	724.8	324.8	524.8

شکل (۶) تغییرات ضریب انتشار را در سیلابدشت و کانال اصلی در حالت بدون پوشش گیاهی نشان می دهد. بطور کلی در کانال های مرکب بدون پوشش گیاهی، ضریب انتشار در دشت سیلابی و کانال اصلی با افزایش عمق نسبی به ترتیب روند افزایشی و کاهش دارد. همانطور که مشاهده می شود؛ ضریب انتشار در سیلابدشت تا عمق نسبی ۰.۱۵ به میزان ۴۱ درصد افزایش و بین ۰.۱۵ تا ۰.۲۰ تقریباً ثابت بوده و بعد از آن با افزایش عمق نسبی، ضریب انتشار به میزان ۴۹ درصد افزایش پیدا میکند. از طرفی ضریب انتشار در کانال اصلی تا عمق نسبی ۰.۲۰ در حدود ۶۵ درصد کاهش و بعد از آن روند کاهشی خود را بسیار آرام طی کرده و به تعادل می رسد.

جدول ۴- ضریب انتشار طولی در دشت سیلابی و کانال اصلی در کانال مناندر مرکب با آرایش پنج ردیفه و تصادفی

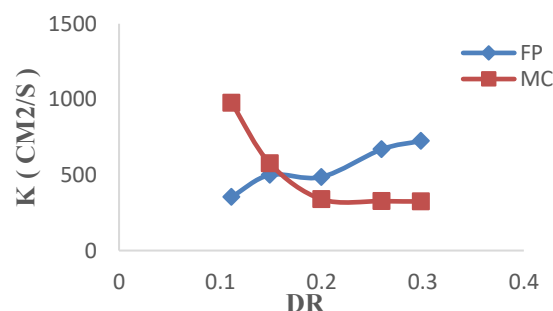
شماره آزمایش	وضعیت پوشش گیاهی	عمق نسبی (Dr)	KFP (cm ² /s)	KMC (cm ² /s)	Kave (cm ² /s)	KFP/U·H	KMC/U·H	K(Ave)/U·H
6	پنج ردیف پوشش	0.10	165.7	1812	989	2.3	25.25	13.78
7	پنج ردیف پوشش	0.15	121	1261	691	1.16	12.17	6.66
8	پنج ردیف پوشش	0.20	89.5	847.2	468.4	0.57	5.48	3.03
9	پنج ردیف پوشش	0.25	114	664.3	385.2	0.5	2.92	1.69
10	پنج ردیف پوشش	0.30	123.9	426	275	0.44	1.52	0.98
11	پوشش تصادفی	0.10	281.9	2339	1310	3.93	32.6	18.28
12	پوشش تصادفی	0.15	187.9	1481	834.7	1.81	14.3	8.05
13	پوشش تصادفی	0.20	158.9	983.9	571.4	1.03	6.37	3.7
14	پوشش تصادفی	0.25	195.4	777.6	486.5	0.86	3.41	2.14
15	پوشش تصادفی	0.30	239	705.8	472.4	0.85	2.13	1.69

اصلی برای پوشش گیاهی پنج ردیفه همواره بیشتر و تقریباً ۸ برابر دشت سیلابی می باشد.



شکل ۷- تغییرات ضریب انتشار در سیلابدشت (FP) و کانال اصلی (MC) در حالت پوشش پنج ردیف گیاهی

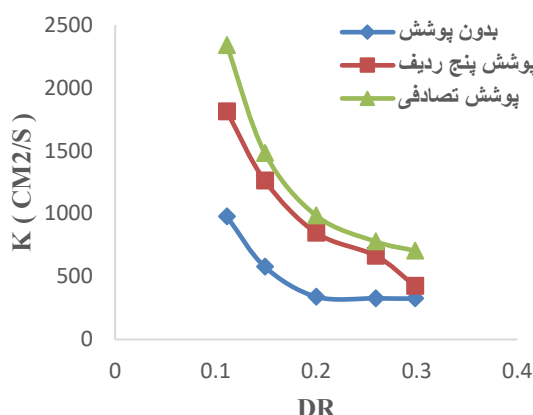
شکل (۸) تغییرات ضریب انتشار سیلابدشت و کانال اصلی برای پوشش گیاهی تصادفی را نشان می دهد، همانطور که مشاهده می شود تغییرات ضریب انتشار در سیلابدشت و کانال اصلی تقریباً مشابه با پوشش گیاهی پنج ردیفه می باشد. بعبارت دیگر این ضریب برای کانال اصلی دارای روند کاهشی بوده در حالی که در سیلابدشت تقریباً ثابت می باشد. نتایج نشان می دهد که در کانال اصلی ضریب انتشار با افزایش عمق نسبی ۷۰ درصد کاهش می یابد. نتایج نشان می دهد



شکل ۶- تغییرات ضریب انتشار در سیلابدشت (FP) و کانال اصلی (MC) در حالت بدون پوشش گیاهی

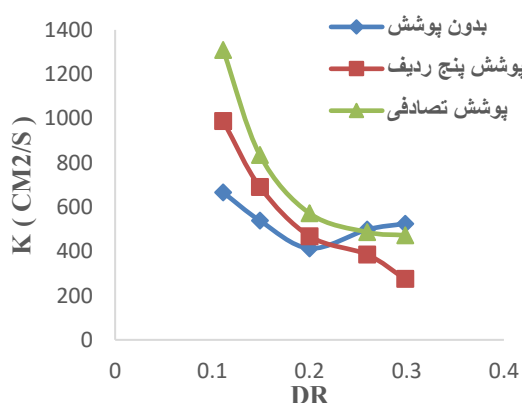
شکل (۷) تغییرات ضریب انتشار در سیلابدشت و کانال اصلی با آرایش گیاهان پنج ردیفه را نشان می دهد. بطور کلی در کانال های مرکب با پوشش گیاهی انعطاف پذیر، ضریب انتشار در کانال اصلی با افزایش عمق نسبی روند کاهشی دارد این در حالی است که این تغییرات در دشت سیلابی به شدت کانال اصلی نبوده و تقریباً ثابت می باشد. علت این امر می تواند کاهش سرعت و عدم تغییر آشفتگی در دشت سیلابی به علت حضور گیاهان باشد. همانطور که مشاهده می شود، ضریب انتشار در کانال اصلی با افزایش عمق نسبی در حدود ۷۶ درصد کاهش می یابد. اما بطور کلی میتوان گفت که ضریب انتشار طولی در کانال

میدهد که با در مقادیر بالای عمق نسبی، ضریب انتشار در کانال اصلی برای شرایط با پوشش و بدون پوشش برابر می باشد.



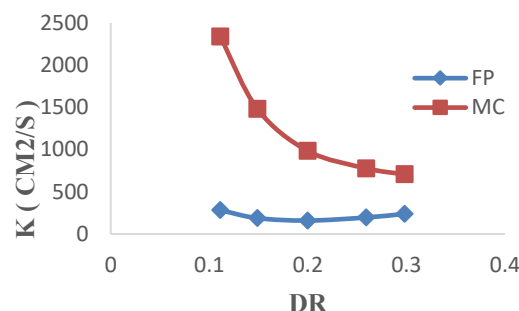
شکل ۱۰ - تغییرات ضریب انتشار در کانال اصلی (MC) در حالت بدون پوشش گیاهی و حضور پوشش گیاهی

در شکل (۱۱) مقایسه ای بین مقادیر متوسط ضریب انتشار کانالهای مرکب در دو شرایط بدون پوشش و با پوشش گیاهی انجام شده است. همانطور که مشاهده می شود روند تغییرات برای کانالهای با پوشش گیاهی تصادفی و پنج ردیفه کاهشی بوده و در تمامی شرایط ضریب انتشار در پوشش گیاهی پنج ردیفه کمتر از پوشش گیاهی تصادفی می باشد. این در حالی است که در کانالهای بدون پوشش با افزایش عمق نسبی و تا عمق ۰.۲ روند ضریب انتشار کاهشی بوده و پس از آن افزایش می یابد. لازم به توضیح است که در عمق نسبی ۰.۱، ضریب انتشار متوسط در کانال های با پوشش تصادفی، پنج ردیفه و بدون پوشش به ترتیب برابر ۱۳۱۰ cm^2/s ، ۹۸۹ cm^2/s و ۶۶۶ cm^2/s می باشد به عبارت دیگر ضریب متوسط انتشار در کانال های با پوشش گیاهی تصادفی و پنج ردیفه به ترتیب ۹۷٪ و ۴۸٪ بیشتر از کانالهای بدون پوشش می باشد. همچنین با افزایش عمق نسبی میزان ضریب انتشار در کانالهای بدون پوشش گیاهی بیشتر از کانالهای با پوشش خواهد شد و در عمق ۰.۳ این اختلاف به ۴۸٪ می رسد.



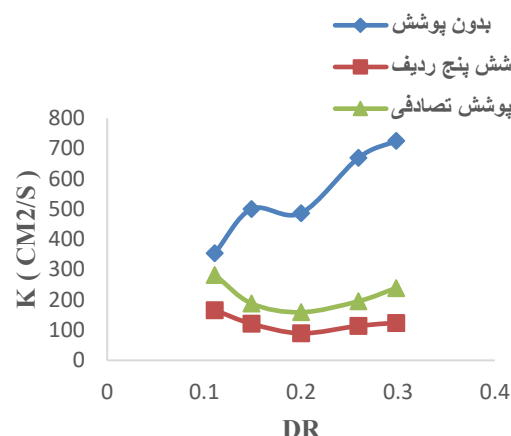
به منظور مقایسه بهتر تغییرات ضریب انتشار طولی در عمق های نسبی مختلف از پارامتر بدون بعد استفاده میشود. ضریب بدون بعد انتشار طولی با استفاده از آنالیز ابعادی و قضیه ی پی باکینگهام بدون بعد شده

ضریب انتشار طولی در کانال اصلی برای پوشش گیاهی تصادفی تقریباً ۶ برابر دشت سیلابی می باشد.



شکل ۸ - تغییرات ضریب انتشار در سیلابدشت (FP) و کانال اصلی (MC) در حالت پوشش تصادفی

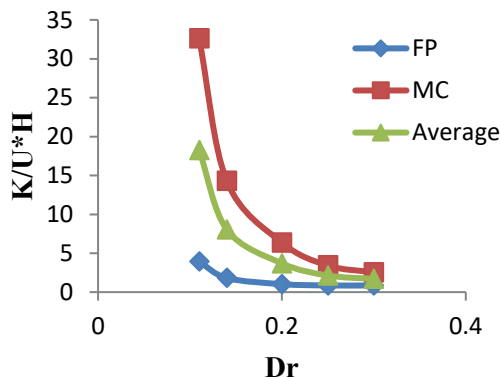
در شکل (۹) تغییرات ضریب انتشار در سیلابدشت در حالت بدون پوشش گیاهی، پوشش پنج ردیفی و تصادفی با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج نشان می دهد که ضریب انتشار در سیلابدشت با حضور گیاهان کاهش یافته است. این ضریب در کانال بدون پوشش، تا عمق نسبی ۰.۲۰ افزایش و در کانال با پوشش گیاهی تقریباً ۴۵ درصد کاهش می یابد. لازم به توضیح است که در کانالهای با پوشش گیاهی، بعد از عمق نسبی ۰.۲ ضریب انتشار دارای یک روند افزایشی می باشد.



شکل ۹ - تغییرات ضریب انتشار در سیلابدشت (FP) در حالت بدون پوشش گیاهی و حضور پوشش گیاهی

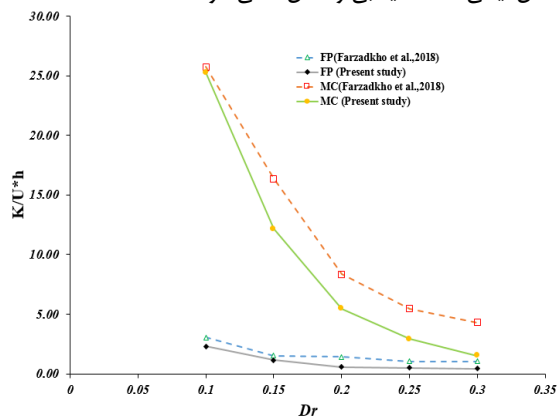
مقایسه تغییرات ضریب انتشار برای کانال اصلی در سه شرایط بدون پوشش گیاهی، پوشش پنج ردیفی و تصادفی در شکل (۱۰) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود با افزایش عمق نسبی، ضریب انتشار برای کانال ها بدون پوشش و با پوشش گیاهی یک روند کاهشی دارد. نتایج نشان میدهد که تا عمق نسبی ۰.۲ این روند کاهشی برای هر دو نوع کانال مشابه بوده اما پس از این عمق در کانال ها بدون پوشش مقدار ضریب انتشار تقریباً ثابت خواهد شد در حالیکه این روند کاهشی برای کانال های با پوشش گیاهی ادامه می یابد. لازم به ذکر است که در عمق نسبی ۰.۳ اختلاف ضریب انتشار در کانال اصلی برای هر دو نوع کانال ناچیز بوده و تقریباً برابر می باشد. این نتایج نشان

اصلی و دشت سیلابی به ترتیب ۱.۵ و ۰.۴ می باشد. همچنین با افزایش عمق نسبی از ۰.۱۰ به ۰.۳۰ ضریب بدون بعد $K/U^* H$ در سیلابدشت ۸۹.۶ درصد و در کانال اصلی ۹۲ درصد کاهش می یابد. لازم به توضیح است که مقادیر متوسط بی بعد ضریب انتشار در پوشش گیاهی تصادفی بیشتر از پنج ردیفه می باشد. این مقدار برای عمق نسبی ۰.۱ در پوشش گیاهی تصادفی و پنج ردیفه به ترتیب برابر با ۱۸.۲۵ و ۱۳.۷۸ می باشد. از طرفی در هر دو نوع پوشش گیاهی، با افزایش عمق نسبی ضریب انتشار بی بعد کاهش می یابد بطوریکه در عمق نسبی ۰.۳ این ضریب در کانال اصلی و دشت سیلابی تقریباً برابر خواهد شد.



شکل ۱۳ - تغییرات ضریب انتشار بی بعد در اعماق نسبی مختلف با پوشش گیاهی تصادفی

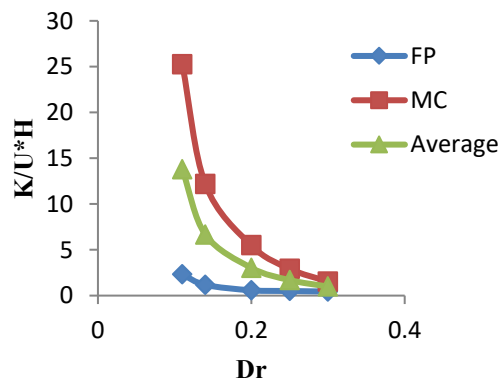
در شکل ۱۴ مقایسه ای بین نتایج این تحقیق برای پوشش گیاهی پنج ردیفه و تحقیقات انجام شده توسط فرزادخو و همکاران (۲۱) انجام شده است. این محققان آزمایش های خود را در یک کانال مرکب دارای میاندر مشابه با این تحقیق و در شرایط هیدرولیکی یکسان انجام دادند. آن ها در تحقیقات خود از گیاهان صلب استفاده نمودند. نتایج نشان میدهد که روند تغییرات ضریب بی بعد انتشار در کانال ها با پوشش صلب و انعطاف پذیر مشابه می باشد، اما استفاده از پوشش گیاهی انعطاف پذیر موجب کاهش ضریب بی بعد انتشار در هر دو قسمت کانال، یعنی دشت سیلابی و کانال اصلی خواهد شد.



شکل ۱۴ - مقایسه نتایج در کانال ها با پوشش گیاهی انعطاف پذیر و صلب

است. در این روش با انتخاب پارامترهای ρ چگالی سیال (U^* ، سرعت برشی) و h (عمق آب در سیلابدشت) به عنوان کمیت های تکراری، ضریب انتشار طولی به شکل $K/U^* h$ بدون بعد می شود. این ضریب در جداول فوق برای پوشش های گیاهی مختلف ارائه شده است. تغییرات ضریب انتشار بدون بعد بر حسب عمق نسبی برای کانال با پوشش گیاهی پنج ردیفه در شکل (۱۲) نشان داده شده است. در این شکل ضریب انتشار برای دشت سیلابی، کانال اصلی و همچنین مقدار متوسط آنها ارائه شده است. این ضریب در کانال اصلی همواره بزرگتر از دشت سیلابی بوده بطوریکه در عمق نسبی ۰.۱ مقدار این ضریب برای کانال اصلی و دشت سیلابی به ترتیب برابر با ۲۵.۳ و ۲.۳ می باشد. نتایج نشان میدهد با افزایش عمق نسبی مقدار ضریب بی بعد کاهش یافته و تقریباً برابر خواهد شد به گونه ای مقدار این ضریب در عمق نسبی ۰.۳ برای کانال اصلی و دشت سیلابی به ترتیب ۱.۵ و ۰.۴ می باشد.

مقدار متوسط ضریب انتشار نیز با افزایش عمق نسبی کاهش می یابد، به گونه ای که این مقدار از ۱۳.۱ برای عمق نسبی ۰.۱۰ به ۰.۹۸ برای عمق نسبی ۰.۳۰ می رسد. علت روند کاهشی پارامتر بدون بعد انتشار طولی با افزایش عمق نسبی، افزایش عمق جریان و سرعت برشی میباشد که باعث می شود مخرج کسر را بزرگتر نماید. نتایج نشان میدهد که عمق جریان یکی از پارامترهای بسیار مهم در ضریب انتشار می باشد بطوریکه در در عمق کم اختلاف ضریب انتشار در کانال اصلی و دشت سیلابی بسیار زیاد می باشد و با افزایش عمق میزان این اختلاف کاهش می یابد.



شکل ۱۲ - تغییرات ضریب انتشار بی بعد در اعماق نسبی مختلف برای پوشش گیاهی پنج ردیفه

شکل (۱۳) مقایسه ای بین تغییرات ضریب انتشار بدون بعد در دشت سیلابی و کانال اصلی برای کانال با پوشش تصادفی ارائه شده است. روند تغییرات ضریب بی بعد انتشار در این نوع پوشش مشابه با پوشش پنج ردیفه بوده و با افزایش عمق کاهش می یابد. ضریب برای پوشش بطوریکه ضریب بی بعد در عمق نسبی ۰.۱ برای کانال اصلی و دشت سیلابی به ترتیب برابر با ۳۲.۵ و ۳.۹ می باشد. نتایج نشان میدهد با افزایش عمق نسبی مقدار ضریب بی بعد کاهش یافته و تقریباً برابر خواهد شد به گونه ای مقدار این ضریب در عمق نسبی ۰.۳ برای کانال

با توجه به نتایج این مطالعه که تأثیر قابل توجه پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر بر ضرایب پراکندگی طولی را در شرایط مختلف عمق نسبی نشان داد، تحقیقات آتی می‌تواند بر موارد زیر تمرکز کند تا درک ما از مکانیسم‌های انتقال در رودخانه‌های طبیعی گسترش یابد:

۱. بررسی تأثیر ویژگی‌های پیچیده پوشش گیاهی (تنوع گونه‌ای و حالت زیستی):

پیشنهاد: در این تحقیق، احتمالاً از یک مدل یا نوع پوشش گیاهی واحد استفاده شده است. تحقیقات آینده باید به بررسی تأثیر تنوع گونه‌های گیاهی (مثلاً مقایسه پوشش‌های سخت‌ریشه در مقابل علفی) و همچنین اثر تغییرات فصلی (مانند پوشش‌های در حال رشد، خشک شده یا زیر آب رفته) بر ضرایب پراکندگی بپردازند.

۲. مدل‌سازی اثرات همزمان تنش باد و پوشش گیاهی:

پیشنهاد: پدیده‌های پراکندگی اغلب تحت تأثیر همزمان عواملی مانند نیروی باد (که موج ایجاد می‌کند) و اغتشاش ناشی از پوشش گیاهی قرار دارند. لازم است یک مدل آزمایشگاهی یا عددی توسعه یابد که برهمکنش غیرخطی بین سرعت و جهت باد و سختی/ارتفاع پوشش گیاهی را بر توزیع زمانی و مکانی آلاینده‌ها بررسی کند. درک این برهمکنش‌ها برای مدیریت کیفی منابع آب در رودخانه‌های بزرگ‌تر ضروری است

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تأمین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: رضا محمدپور، زهرا حیدری حنائی؛ روش-شناسی، نظارت و تحلیل داده‌ها: رضا محمدپور؛ نگارش نهایی: زهرا حیدری حنائی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

آلودگی رودخانه‌ها می‌تواند موجب از بین بردن کامل گونه‌های زیستی و همچنین تهدیدهای جدی برای شهرها و جوامع انسانی باشد، بنابراین آگاهی از نحوه پخش آلودگی در رودخانه‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به اینکه تمامی گیاهان انعطاف‌پذیر بوده و از طرفی اکثر تحقیقات انجام شده مربوط به گیاهان صلب است بنابراین بررسی گیاهان انعطاف‌پذیر در نحوه پخش آلودگی ضروری می‌باشد. در این تحقیق از یک فلوم قوسی شکل به طول ۶۰ متر، عرض ۱/۲ متر و ارتفاع ۰/۵ متر استفاده شد. در کلیه آزمایش‌ها، دشت سیلابی به عرض ۰/۶ متر با استفاده از گیاهان انعطاف‌پذیر مصنوعی (طلق به قطر ۱۰ میلی‌متر) با تراکم ۰/۷۸۵ پوشیده شد. برای بررسی نحوه پخش آلودگی، تعداد ۱۵ آزمایش با دو نوع پوشش پنج ردیفه و تصادفی و همچنین بدون پوشش انجام شد. نتایج نشان داد که ضریب بی بعد انتشار طولی در کانال اصلی همواره بزرگتر مقدار آن در دشت سیلابی می‌باشد و این مقدار با افزایش عمق نسبی کاهش می‌یابد، بطوریکه در عمق نسبی ۰/۳ ضریب انتشار در کانال اصلی و دشت سیلابی تقریباً برابر خواهد شد. از طرفی در عمق نسبی ۰/۱، ضریب انتشار متوسط در کانال‌های با پوشش تصادفی، پنج ردیفه و بدون پوشش به ترتیب برابر ۱۳۱۰ cm^2/s ، ۹۸۹ cm^2/s و ۶۶۶ cm^2/s می‌باشد. به عبارت دیگر این ضریب در کانال‌های با پوشش گیاهی تصادفی و پنج ردیفه به ترتیب ۹۷٪ و ۴۸٪ بیشتر از کانال‌های بدون پوشش می‌باشد. این در حالی است که با افزایش عمق نسبی و در عمقی حدود ۰/۲ ضریب انتشار در هر دو کانال برابر خواهد بود. با افزایش عمق نسبی میزان ضریب انتشار در کانال‌های بدون پوشش گیاهی بیشتر از کانال‌های با پوشش بوده و در عمق ۰/۳ این اختلاف به ۴۸٪ می‌رسد. نتایج نشان داد که حضور پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر در سیلابدشت کانال‌های متاندر مرکب با تأثیر بر روی ساختار و هیدرولیک جریان سبب تغییر نحوه‌ی پخش و انتشار آلاینده‌ها می‌شود به گونه‌ای که مقدار این تأثیر در عمق‌های نسبی کم بسیار چشم‌گیر می‌باشد و با افزایش عمق نسبی ضریب انتشار نیز در کانال اصلی کاهش پیدا می‌کند. در انتها مقایسه بین نتایج گیاهان صلب و انعطاف‌پذیر نشان داد که استفاده از پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر موجب کاهش ضریب بی بعد انتشار نسبت به پوشش گیاهی صلب خواهد شد.

پیشنهادهای

References

1. Süme, V., Daneshfaraz, R., Kerim, A., Abbaszadeh, H., & Abraham, J. (2024). Investigation of clean energy production in drinking water networks. *Water Resources Management*, 38(6), 2189-2208.
2. Hamidifar, H. and M. H. Omid (2020). "Effects of Vegetation Arrangement and Floodplain-main Channel Interaction on the Longitudinal Dispersion Coefficient

in Compound Channels %J Iranian Journal of Soil and Water Research." 51(2): 479-488.

3. Izadinia, E., Saadatpour, A., Heidarpour, M. (2016). 'Estimating Longitudinal Dispersion Coefficient of Pollutants in Open Channel Flows Using Artificial Neural Networks', *Water and Soil Science*, 26(1-2), pp. 225-238.
4. Boxall, J. B., & Guymer, I. (2003). Analysis and prediction of transverse mixing

- coefficients in natural channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(2), 129-139.
5. Fischer, H. B., List, J. E., Koh, C. R., Imberger, J., & Brooks, N. H. (1979). *Mixing in inland and coastal waters*. Elsevier. Academic press.
6. Shahsavari, H., Khodashenas, S. R., & Esmaili, K. (2020). Investigating the effect of rigid non-submerged artificial vegetation on flow characteristics in Compound Meander Channel. *Journal of Hydraulics*, 15(2), 131-147.
7. Yang, L., Fang, H. Z., Yang, Z. H., & Huai, W. X. (2023). Longitudinal dispersive coefficient in channels with aquatic vegetation: A review. *Journal of Hydrodynamics*, 35(3), 379-395.
8. Abbaszadeh, H., Daneshfaraz, R., & Norouzi, R. (2023). Experimental investigation of hydraulic jump parameters in sill application mode with various synthesis. *Journal of Hydraulic Structures*, 9(1), 18-42.
9. Rutherford, J. C. (1994). *River mixing*. John Wiley & Son Ltd
10. Mohammadpour, R., Ghani, A. A. & Azamathulla, H. M. 2013. Numerical modeling of 3-D flow on porous broad crested weirs. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 9324-9337.
11. Maryami, E., Mohammadpour, R., Beirami, M. K. & Haghighi, A. T. 2021. Prediction of hydraulic jump characteristics in a closed conduit using numerical and analytical methods. *Flow Measurement and Instrumentation*, 82, 102071.
12. Mohammadpour, R., Zainalfikry, M. K., Zakaria, N. A., Ghani, A. A. & Weng Chan, N. 2019. Manning's roughness coefficient for ecological subsurface channel with modules. *International Journal of River Basin Management*, 18, 349-361.
13. Wang, M., Avital, E., Korakianitis, T., Williams, J., & Ai, K. (2021). A numerical study on the influence of curvature ratio and vegetation density on a partially vegetated U-bend channel flow. *Advances in Water Resources*, 148, 103843.
14. Asif, M., Ghani, U., Pasha, G. A., Ullah, M. K. & Ali, S. 2024. 3D numerical investigation of flow behavior in an open channel with uniform and layered vegetation patches under varying submergence conditions. *Ain Shams Engineering Journal*, 15, 102288.
15. Omid, M. H. and A. Keshavarzi (2015). "Effect of Floodplain Submerged and Non-submerged Vegetation on the Transverse Mixing Coefficient of Pollutants %J *Journal of Hydraulics*." 10(1): 13-23.
16. Hamidifar, H., Omid, M. H., & Keshavarzi, A. (2013). Laboratory investigation of the longitudinal diffusion coefficient of pollutants in rivers with complex cross sections. *The Third Conference on Environmental Planning and Management*. Tehran university. Tehran, Iran.
17. Hamidifar, H., Omid, M. H., & Keshavarzi, A. (2015). Longitudinal dispersion in waterways with vegetated floodplain. *Ecological Engineering*, 84, 398-407.
18. zebardast, s., S. H. Tabatabaei, F. Abbasi, M. Heidarpour and C. Gualtieri (2017). "Maximum Length of Solute Diffusion in a Parabolic Channel under Permeable and Impermeable Bed Conditions %J *Water and Soil*." 31(2): 399-410.
19. Zebardast, S., S.-H. Tabatabaei, F. Abbasi, M. Heidarpour and C. Gualtieri (2015). "Study of the Effect of Discharge and Bed Roughness on the Maximum Solute Diffusion Length in a Parabolic Channel %J *Iranian Journal of Soil and Water Research*." 46(3): 395-404.
20. Farzadkhoo, m. (2017). "» Research Note « Estimation of Longitudinal Dispersion Coefficient in Compound

- Channels with Two Rows of Rigid Vegetation (tree) over Floodplain %J Journal of Hydraulics." 12(1): 85-91.
21. Farzadkhoo M, Keshavarzi A, Hamidifar H, Javan M. (2018) A comparative study of longitudinal dispersion models in rigid vegetated compound meandering channels. Journal of Environmental Management. 217:78-89.
 22. - Abbaszadeh, H., Daneshfaraz, R., Sume, V., & Abraham, J. (2024). Experimental investigation and application of soft computing models for predicting flow energy loss in arc-shaped constrictions. AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society, 73(3), 637-661.
 23. Mohammadpour, R., Shaharuddin, S., Chang, C., Zakaria, N., Ghani, A. & Chan, N. 2015. Prediction of water quality index in constructed wetlands using support vector machine. Environmental Science and Pollution Research, 22, 6208-6219.
 24. Noori, R., A. Karbassi and H. Mehdizadeh (2011). "Predicting the Longitudinal Dispersion Coefficient in Natural Streams Using Developed Artificial Neural Network Model %J Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian)." 21(4): 104-109.
 25. Abbaszadeh, H., Norouzi, R., Sume, V., Kuriqi, A., Daneshfaraz, R., & Abraham, J. (2023). Sill role effect on the flow characteristics (experimental and regression model analytical). Fluids, 8(8), 235.