

بررسی آزمایشگاهی تاثیر پوشش گیاهی در ختان حاشیه رودخانه های کوهستانی بر روی خصوصیات هیدرولیکی

هادی قاسمی کهریزه^۱، سید حبیب موسوی جهرمی^۲، نادرقلی ابراهیمی^۳، حسین صدقی^۴، محمود شفاعی^۵

۱- دانشجوی دکترای سازه های آبی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲ و ۴ و ۵- اعضای هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران و

۳- عضوهایات علمی پژوهشکده آبخیزداری و حفاظت خاک وزارت جهاد کشاورزی

چکیده

امروزه در برنامه های توسعه منابع آب توجه جدی و روز افزون به رودخانه ها می شود. پوشش گیاهی از عناصر مهم و تأثیر گذار رودخانه بوده و به عنوان محافظ طبیعی کناره ها، بستر و تثبیت بیولوژی آن تلقی شده و از نگاه دیگر قدرت آبکنتری رودخانه را به دلیل افزایش زبری کاهش می دهد. پوششهای گیاهی بلند و کوتاه در بستر و کناره ها علاوه بر مصالح بستر، زبرترین موانع در مقابل جریان سیال بوده که باعث اضافه شدن زبری مسیر جریان و جذب مقدار زیادی از نیرو و انرژی سیال می شوند. این مطالعه به بررسی تاثیر درختان حاشیه رودخانه های کوهستانی بر روی خصوصیات هیدرولیکی و ضریب زبری با استفاده از یک مدل فیزیکی باشیب ثابت یک درصد، عرض ۱/۵ متر، ارتفاع ۹۰ سانتی متر و طول ۱۴ متر و دبی های ۵lit/se، ۱۱lit/se و ۲۰lit/se می پردازد. نتایج نشان می دهد تغییرات شبیه انرژی، دبی و عمق جریان، اندازه مصالح بستر و پوشش گیاهی در کناره ابراهه باعث تغییر ضریب زبری می شود. این ضریب ثابت نبوده بلکه با افزایش تراکم پوشش گیاهی و اندازه مصالح بستر افزایش، و با افزایش سرعت و عمق جریان کاهش می یابد.

کلمات کلیدی: پوشش گیاهی، رودخانه کوهستانی، ضریب زبری

Experimental Investigation of the Effect of Trees Vegetation in the Mountainous Riversides on Hydraulic Properties

Hadi Ghasemi Kahrize^{*1}, Seyyed Habib Musavi Jahromi², Nadergholi Ebrahimi³, Hosein Sedghi⁴, Mahmud Shefai⁵

1- PhD Student of Water Structures, Islamic Azad University, Tehran

2, 4, 5- Scientific Member of Islamic Azad University, Tehran

3- Scientific member of the research center of soil conservation and watershed management

Abstract

Nowadays, there is an increasing interest to rivers in the development plans of water resources. Vegetation is of the important and effective elements in rivers and is regarded as a natural protective of sides, biological bed and fixation; and in other respect it reduces the river hydraulic conductivity due to the increased roughness. Long and short vegetation in beds and sides are the roughest barriers against the fluid flow other than bed materials which increase the roughness of the flow path and attract much of the fluid energy. This research studies the effects of trees in mountainous riversides on hydraulic properties and the roughness coefficient using a physical method with 1% constant slope, 1.5 m wide, 90cm high, 14m long and discharges of 5lit/s, 11lit/se and 20lit/se. the results show that the slope changes, discharges and flow depth, the bed material size and the vegetation along

* Corresponding Author's E-mail (h.ghasemi1980@gmail.com)



waterways cause to change in roughness coefficient. This coefficient is not constant and it will increase by increasing the vegetation density and will reduce by increasing the flow speed and depth.

Keywords: Vegetation, mountaous river, roughness coefficient.

الف-مقدمه

مقاومت در برابر حرکت جریان آب در مجاری بازتحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله جنس مصالح بستر و بدنه، شکل مقطع و میزان نامنظمی آن، پوشش گیاهی، خم های رودخانه، شکل پلان مسیر مجرأ و ... قرارداد مثلا درختان گیاهی موجود در حاشیه رودخانه ها باعث کاهش سرعت جریان و تشدید شرایط سیلابی میشوند. از نظر هیدرولیکی میزان کندی جریان ناشی از پوشش گیاهی در کanal های طبیعی یک عامل مهم در طراحی سیلاب دشت و مدیریت حریم رودخانه و کanal های طبیعی است. همچنین از دیدگاه زیست محیطی می توان به اثر پوشش گیاهی در عوامل مورفولوژیکی، کیفیت آب و زیبائی یک حوضه آبریز اشاره کرد. نقش پوشش گیاهی در حفاظت و تثبیت دیواره و سواحل رودخانه بطور گسترده ای توسط محققان در اقصی نقاط جهان مطالعه شده و همگی آنرا بعنوان یک گزینه اقتصادی و زیست محیطی شناخته اند. این روش قدرت و قابلیت تجدید حیات و بازسازی بصورت طبیعی را دارد؛ بازسازی رودخانه و کanal های خاکی به بررسی تاثیر پوشش گیاهی، بوته و درخت بر عملکرد هیدرولیکی آبراهه دارد. از نقطه نظر هیدرولیکی، پوشش گیاهی باعث افزایش مقاومت در برابر جریان و کاهش میزان انتقال جریان می شود. در کanal های طبیعی، پوشش گیاهی از طریق ایجاد آشفتگی در اطراف ساقه ها و برگهای گیاه موجب افت انرژی می شود و در مقابل حرکت آب مقاومت ایجاد می کند. یکی از کاربردی ترین معادلات تحلیل مقاومت جریان رابطه مانینگ می باشد، به طوریکه زبری سطح به وسیله این ضریب تعیین میشود. تا کنون مطالعات زیادی بر روی تاثیر دانه بندی مصالح و نیر پوشش گیاهی بر روی ضریب زبری بصورت مجزا از هم انجام شده است 'دفینا و همکاران در تحقیق خود توانایی دو مدل ریاضی مختلف برای پیش بینی جریان یک بعدی کاملا توسعه یافته در یک کanal باز را در حضور پوشش گیاهی غیرقابل انعطاف با اشکال پیچیده و همراه با برگ در حالت مستغرق یا غیر مستغرق بررسی کردند. این محققین نتایج مدلها را با داده های آزمایشگاهی بدست امده از سیلندرهای ساده، نمونه های گیاهی پلاستیکی با گیاهان واقعی مقایسه نمودند که بر این اساس برای سرعت و تنش برشی ، گرانزوی لایه مرزی برشی توربولانس، تفاق خوبی بین نتایج مدل و داده های آزمایشگاهی مشاهده گردید. از طرف دیگر در مقایسه توزیع تلاطم در جهت جریان و اکثر مواردی که مربوط به انرژی جنبشی توربولانس بود توافقی بین مقادیر محاسبه شده و اندازه گیری شده مشاهده نشد(محمدی، ۱۳۹۱). ولاسکو و همکاران تعامل هیدرومکانیکی بین جریان و پوشش گیاهی قابل انعطاف در کف رودخانه را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق،

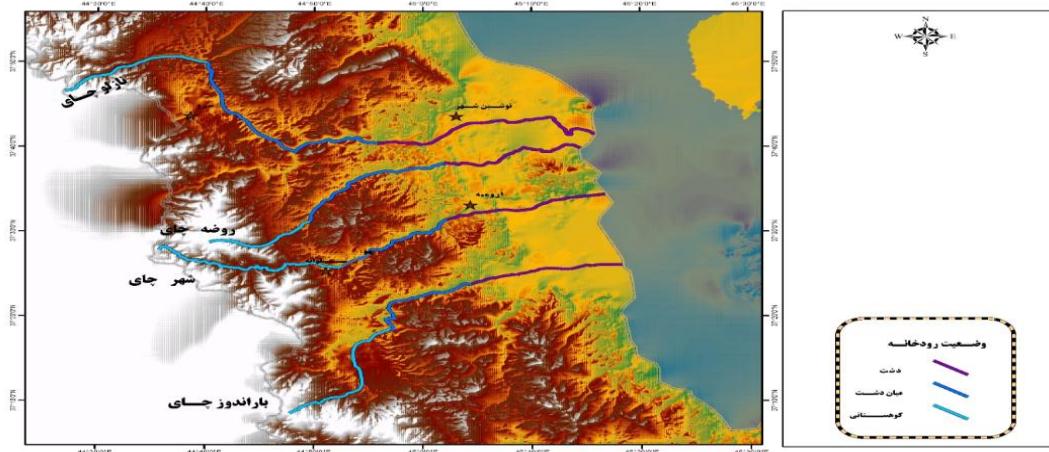


تستهای آزمایشگاهی و اندازه گیریهای توربولانس در جریان، در یک کanal باز با پوشش گیاهی مصنوعی که در شنهای بستر فرو برده شده بودند انجام پذیرفت که بر این اساس روابط جالبی بین سرعت و ارتفاع خم شده پوشش گیاهی بدست آمد (ابراهیمی، ۱۳۸۷). نزو و همکاران اندازه گیریهای جریان آشفته را در یک کanal باز با پوشش گیاهی و فقط در نیمه راست یا چپ مقطع عرضی بوسیله LDA و PIV انجام دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که شدت جریانهای ثانویه و انرژی توربولانس با افزایش عدد فرود افزایش می یابد. جریان آشفته در نزدیک سطح آب بوسیله جریانهای ثانویه در جهت افقی انتقال پیدا می کند. همچنین در این تحقیق تنش برشی بستر در منطقه با پوشش گیاهی بوسیله معادلات رینولدز و با کمک ضریب درگ تجربی محاسبه شد (Cowan, 1956). بابتیس و همکاران در پژوهش خود به مقایسه معادلاتی می پردازند که از زوایای مختلف بیان کننده زبری پوشش گیاهی است. این نویسندها یک مدل عددی توربولانس (DV K-ε) مورد ارزیابی قرار می دهند یک روش نو در کاربرد تکنیک برنامه نویسی ژنتیک ارائه می کنند تا بتواند بیانی برای زبری بر اساس داده های پوشش گیاهی بدست آورد (Yang et al., 2004). فتحی مقدم و همکاران، اثر شیب و عمق جریان را روی پارامتر زبری در پوشش گیاهی بلندوشرایط غیر مستغرق بررسی و روابطی بین سرعت و شیب کف ارائه و نشان داد که افزایش پارامتر زبری با عمق جریان در شرایط مستغرق افزایش یافته و اثر تغییر عمق جریان روی این ضریب بیشتر از تغییر شیب و دیگر می باشد (Bathurst, 1985). با توجه به مطالب ارائه شده مشخص است که تا کنون مطالعات نسبتاً گستره ای در رابطه با برآورد مقاومت جریان ناشی از زبری بستر صورت گرفته است. ولی به دلیل اهمیت ضریب زبری در برآورد پارامترهای هیدرولیکی لازم است تا مطالعات بیشتری انجام گردد و میزان تاثیر ضریب زبری بر روی هریک از پارامترهای هیدرولیکی مشخص شود. از این رو هدف اصلی این تحقیق انجام یک سری آزمایش در فلوم آزمایشگاهی با مواد بستر درشت دانه طبیعی و مقایسه آن با حالت طبیعی وجود درختان حاشیه ای کنار رودخانه های کوهستانی مورد مطالعه؛ تاثیر ضریب زبری در دو حالت آزمایش (وجود درختان حاشیه ای و بدون آن) بر روی پارامترهای تاثیرگذار هیدرولیکی مشخص شده است.

ب- مواد و روش ها

۱- معرفی رودخانه های مورد مطالعه

استان آذربایجان غربی در منتهی الیه شمال غرب کشور و در کنار دریاچه ارومیه واقع شده است که از میان ۳ رودخانه مشرف به حوضه آبریز دریاچه ارومیه سه رودخانه پرآب استان که در جدول ۱ مشخصات مورفوژئیکی آن و همچنین نمای کلی از بازه مورد نظر در شکل ۱ به اختصار تشریح و نمایش داده شده است.



شکل ۱- نمای کلی از محدوده مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات مورفولوژیکی رودخانه های مورد مطالعه در جدول زیر تشریح شده است

ردیف	نام رودخانه	طول رودخانه (KM)	ارتفاع حداکثر	ارتفاع حداقل	شیب ناچالص رودخانه (%)	طول بازه کوهستانی (KM)	شیب (%)
۱	نازلوچایی	۷۸/۸۳	۲۶۸۴	۱۲۷۰	۱/۷۹۳۷۷۳۳۵	۲۰/۴۵	۷/۱۹
۲	روضه چایی	۵۵/۲۴۵	۳۱۴۷	۱۲۷۰	۳/۳۹۷۵۹۲۵۴۲	۱۴/۲	۱۲/۴۹
۳	شهر چایی	۶۴/۲۹۱۴	۲۷۰۰	۱۲۷۵	۲/۲۱۶۴۷۰۶۳۲	۲۵/۸۸۳۱	۵/۵۳

۲- رابطه ابعادی

در تحلیل ابعادی با استفاده از روش باکینگهام سرعت برشی، V^* به عنوان متغیرهای اصلی پارامترهای بدون بعد زیر به دست می آید. در این پارامترها (ρ) و (R),(U) گرفتن سه متغیر وزن مخصوص آب- ρ شاعر هیدرولیکی و R . ضریب لز جت سینماتیکی U ، ضریب زبری مانینگ n ، شتاب ثقل g ، ضریب دارسی f می باشد که نهایتاً پارامترهای بی بعد f و y/ks ، sf , y/ks , Re^* , Fr حاصل گردید.

$$N = f(f, sf, y/ks, Re^*, Fr) \quad (1)$$

چون عملاً با توجه به طول بیشتر رودخانه های مورد نظر امکان ساخت مدل در آزمایشگاه بدليل طول زیاد رودخانه ها میسر نبوده لذا اقدام به انتخاب بازه ای از رودخانه مورد نظر که تمامی پارامترهای مورد نظر در آن بازه وجود داشته باشد؛ نموده و نهایتاً به مدل سازی در آزمایشگاه پرداخته ایم ، روش آزمایش بدین نحو بود که ابتدا یک شیب ثابت یک درصد با استفاده از بتن در طول ۹ متر در فلوم ایجاد و سپس مصالح مورد نظر را با توجه به آزمایشات دانه بندی انجام شده در بازه های کوهستانی D10 و D30 و D60 و D90 اقدام به مقیاس بندی در آزمایشگاه نموده وجهت ایجاد بستر صلب در فلوم از چسب های مخصوص جهت پاشیدن دانه بندی مقیاس شده استفاده نموده ایم و مصالح مقیاس شده بطور یکنواخت بر روی شیب ایجاد

شده پاشیده تا زبری موردنظر ایجاد گردد؛ آنگاه اقدام به روشن کردن پمپ و افزایش دبی ورودی تا حدمورنظر به فلوم، توسط شیر ورودی میگردد. پس از اطمینان از برقراری دبی مورد نظر و ثابت بودن شرایط جریان پارامترهای مختلف جریان، اندازه گیری گردید که عوامل متغیر اندازه گیری شده شامل : عمق جریان آب در ۱۰ مقطع توسط رقوم سنج با دقت یک دهم میلی متر و سرعت جریان در مقطع عرضی وسط جریان زبر توسط دستگاه مولینه سنج با دقت ۰/۰۱ سانتی متر بر ثانیه اندازه گیری شد. پس از اتمام آزمایشات بدون درختان حاشیه ای به منظور ایجاد درختان در حاشیه مدل بدلیل اینکه عملأ در طبیعت بصورت نامنظم وجود دارد ابتدا تاج پوشش درختی و قطر آنها را تخمین زده و سپس با توجه به نتایج موجود در مدل اقدام به کاشت میله های ۶ میلی متری به تعداد ۷۶ عدد در طرفین فلوم بصورت تصادفی کرده ایم؛ ز طرفی با یک شیب ثابت، ۳ دبی متفاوت و یک متغیر اندازه دانه بندی مواد بستر در شرایط وجود درختان حاشیه ای و بدون آن، جمعاً ۶۰ آزمایش انجام شد. با توجه به محاسبات انجام شده، جریان در تمامی آزمایشها تقریباً فوق بحرانی و متلاطم زبر میباشد.

جدول ۲- داده های اخذ شده از مدل هیدرولیکی در آزمایشگاه با شیب ثابت ۱٪ (بدون درختان حاشیه)

Q	مقطع	Sf	ΔH	Fr	Re	Re*	U*	τ^*	n obs	n cal
11	1	0	0.022101	0.976121	12376.24	0	0	0	0	0
11	2	0.026941	0.040649	1.068847	11677.28	128.6449	0.077967	6.078787	0.026147	0.026941
11	3	0.025745	0.038954	1.147311	11328.53	121.5865	0.073689	5.430037	0.023545	0.025745
11	4	0.025469	0.033153	1.158625	11201.63	120.0857	0.072779	5.296812	0.023136	0.025469
11	5	0.024293	0.038934	1.196233	10597.3	113.913	0.069038	4.766271	0.021673	0.024293
11	6	0.023369	0.032004	1.220623	10091.74	109.1822	0.066171	4.378602	0.020673	0.023369
11	7	0.022681	0.031881	1.136438	9322.034	107.2813	0.065019	4.227465	0.021856	0.022681
11	8	0.022073	0.035271	1.172455	9090.909	103.8673	0.06295	3.962686	0.020769	0.022073
11	9	0.020584	0.038723	1.401369	8800	93.49303	0.056662	3.210632	0.016391	0.020584
11	10	0.019281	0.052967	1.815932	8333.33	81.50358	0.049396	2.439976	0.011823	0.019281



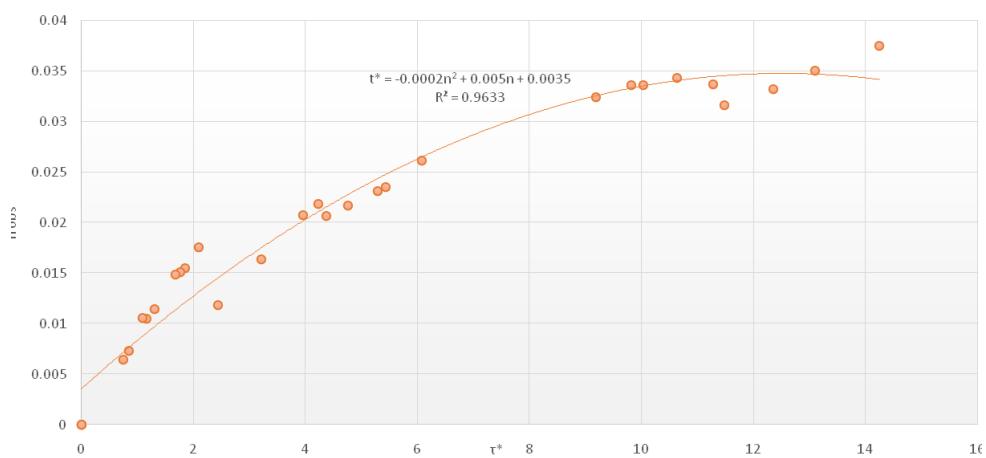
جدول ۳- داده های اخذ شده از مدل هیدرولیکی در آزمایشگاه با شیب ثابت ۱٪ (با درختان حاشیه)

Q	قطع	Sf	ΔH	Fr	Re	Re*	U*	τ^*	N obs	N cal
11	1	0	0	1.02229	13269	0	0	0	0	0
1	2	0.026277	0.029337	1.370608	12600.23	119.9444	0.072694	5.284353	0.019754	0.026277
11	3	0.024877	0.026846	1.499937	11917.27	111.1664	0.067374	4.539201	0.017281	0.024877
11	4	0.024173	0.033234	2.315059	11247.44	93.01061	0.05637	3.177584	0.01045	0.024173
11	5	0.024383	0.011667	2.436007	11178.86	91.65429	0.055548	3.085586	0.009911	0.024383
11	6	0.02485	0.011608	2.850406	10582.01	86.216	0.052252	2.730284	0.008352	0.02485
11	7	0.024454	0.011854	3.02677	9909.91	82.01897	0.049708	2.470932	0.007694	0.024454
11	8	0.024862	0.013753	3.427782	9166.667	77.30515	0.046852	2.195073	0.006698	0.024862
11	9	0.028845	0.011169	3.994622	9804.795	80.92161	0.049043	2.405255	0.006132	0.028845
11	10	0.037614	0	5.926812	8627.451	77.63741	0.047053	2.213983	0.004454	0.037614

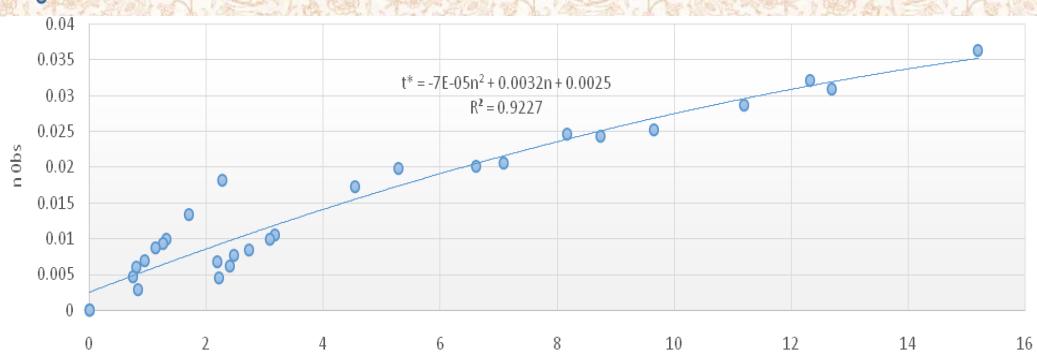
و بقیه پارامترها در دبی های 5 l/s و 20 l/s همانند جدول بالا بدست آمد.

ج- نتایج و بحث

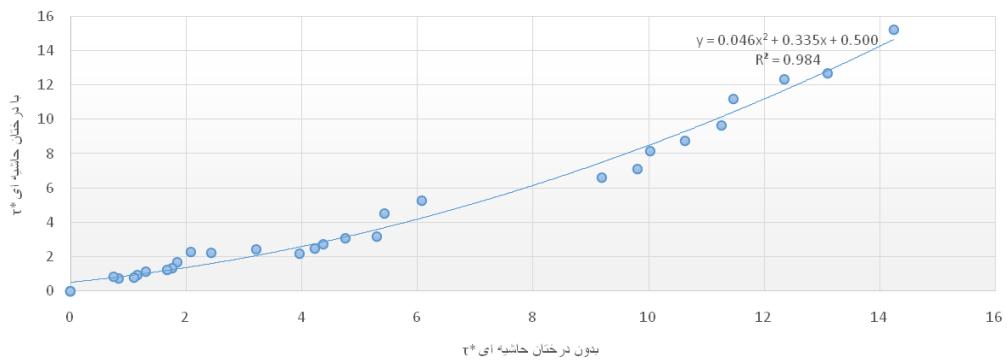
در شکل های ۴ و ۵ تغییرات ضریب زبری مانینگ در مقابل پارامترهای تنش برشی و سرعت برشی و عدد فرود و انرژی مخصوص، نشان داده شده است. با توجه به این شکل ها ملاحظه می شود که، به ازاء یک دبی ثابت با افزایش تنش برشی ضریب زبری مانینگ نیز در دو حالت با درختان حاشیه ای و بدون آن افزایش می یابد.



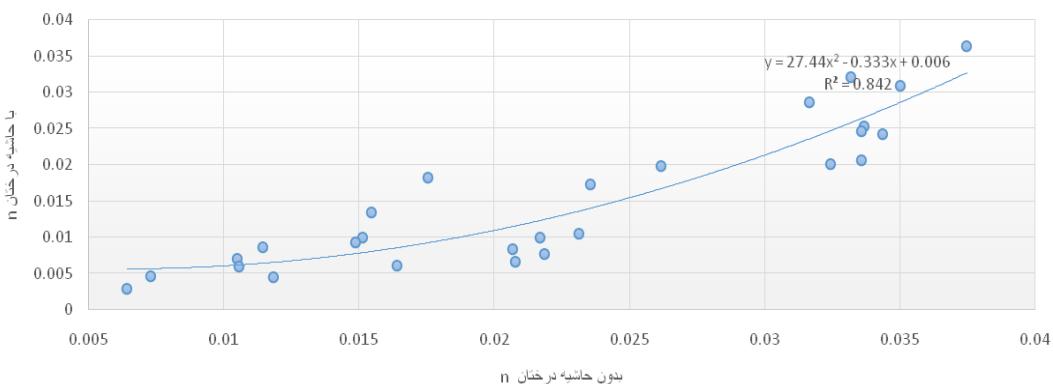
شکل ۲- تغییرات تنش برشی در مقابل ضریب زبری با درختان حاشیه ای



شکل ۳- تغییرات تنفس پوشی در مقابل ضریب زبری بدون درختان حاشیه ای

شکل ۴- مقایسه τ^* در حالت با درختان حاشیه ای و بدون درختان حاشیه ای

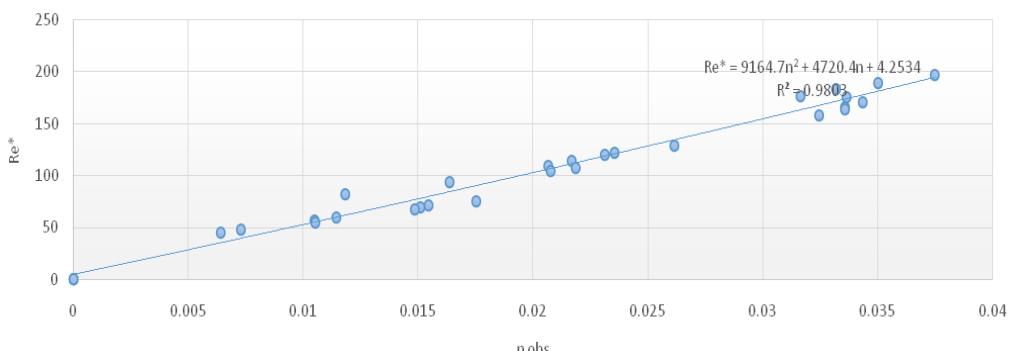
در نمودار ۵ رابطه ضریب زبری در شرایط درختان حاشیه ای و بدون آن ترسیم و نمایش داده شده است.



شکل ۵- رابطه ضریب زبری در دو حالت با درختان و بدون درختان حاشیه ای

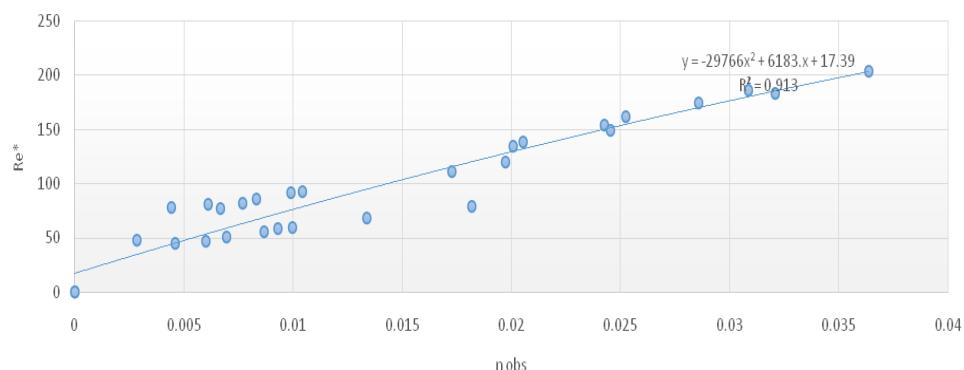
در طول یک دبی ثابت در جهت جریان، هم نیروی درگ اصطکاکی و هم نیروی درگ فشاری از سیال بر بستر اثر میکنند. با شرایط هیدرولیکی یکسان، با وجود درختان حاشیه ای نیروی درگ اصطکاکی نسبت به شرایط بدون درختان حاشیه ای بزرگتر شده در نتیجه نیروی درگ کل وارد از سیال بر بستر بزرگتر می شود، پس افت جریان نیز بیشتر خواهد شد: به همین دلیل است که با شرایط هیدرولیکی یکسان با وجود درختان حاشیه ای ضریب زبری کاهش می یابد. طبق محاسبات انجام

گرفته هرچقدر ضریب زبری افزایش یابد مقدار Re^* و τ افزایش یافته ولی این نسبت در حالت بدون حاشیه ای بیشتر است.



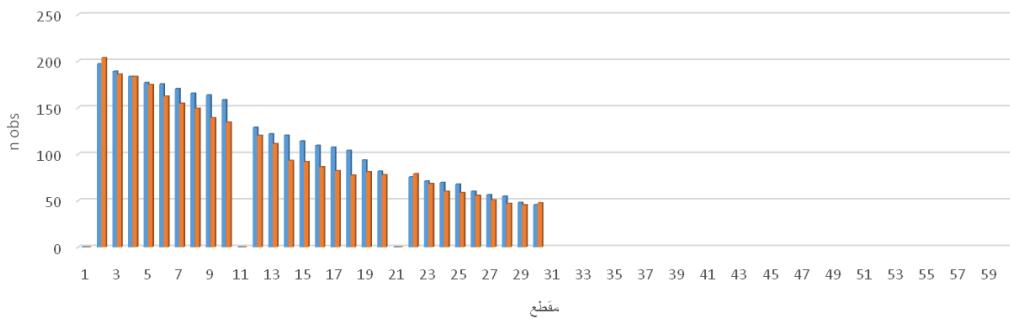
شکل ۶- ضریب زبری و Re^* با درختان حاشیه ای

هر چه سرعت بیشتر شود (پروفیل سرعت ضخیم تر می شود) نقاط جدایی روی سطح ذره دیرتر اتفاق می افتدند پس منطقه جداشده تشكیل شده کوچکتر شده و در نتیجه نیروی درگ فشاری کاهش می یابد از طرفی با افزایش سرعت و عدد رینولدز نیروی درگ اصطکاکی هم کاهش می یابد. در نتیجه با افزایش دبی و عمق جریان نیروی درگ کل و در نتیجه ضریب زبری مانینگ کاهش میابد. در نمودار ۶ رابطه میان ضریب زبری و مقدار Re^* با درختان و بدون درختان حاشیه ای نمایش داده شده است.



شکل ۷- ضریب زبری و Re^* بدون درختان حاشیه ای

در نمودار ۸ مقدار افزایش عدد Re^* در شرایط درختان حاشیه رودخانه و بدون آن نمایش داده شده است.



شکل ۸- مقایسه عدد رینولوز برشی در شرایط با درختان و بدون درختان حاشیه

۵- نتیجه گیری

نتایج کلی بشرح زیر می باشد:

- ۱- با افزایش دبی در رودخانه های کوهستانی مقدار ضریب زبری افزایش می یابد دلیل امر وجود شیب بالای آن می باشد که نیروی گرانشی بر نیروی اصکاکی ذرات غلبه پیدا میکند.
- ۲- در سه حالت دبی آزمایش بطور متوسط درختان حاشیه ای باعث کاهش ۷۱٪ ضریب زبری و کاهش ۲۲/۵٪ تنش برشی استار و همچنین کاهش ۱۱٪ رینولوز استار و افزایش ۳۷٪ عدد فرود و افزایش ۳۲٪ عمق آب شده است.
- ۳- بیشترین تغییرات درختان حاشیه ای و بدون حاشیه ای در سه دبی حداکثر و حداقل و متوسط رودخانه مربوط به دبی متوسط سالیانه در کلیه پارامترهای هیدرولیکی و t^* و n در دبی حداقل و دبی حداکثر می باشد.
- ۴- در حالت کلی با کاشت درختان در حاشیه رودخانه علاوه بر ثبت بستر رودخانه و همچنین کناره رودخانه باعث جلوگیری از فرسایش رودخانه و همچنین جلوگیری از آلودگی و گل لای شدن آن و همچنین افزایش جاذبه توریستی و تفریحی میشود و همچنین باعث افزایش سرانه فضای سبز میشود.

کلیه نتایج حاصله از تاثیر درختان حاشیه و بدون حاشیه و درصد تغییرات آن در جدول زیر نمایش داده است.

جدول ۴- تأثیر درختان حاشیه و بدون حاشیه و درصد تغییرات در دبی lit/se

ردیف	پارامتر	متوسط بدون درختان حاشیه ای	متوسط با درختان حاشیه ای	درصد تغییرات
۱	n	۰/۰۲۱	۰/۱۰	-۱۳۱٪
۲	τ^*	۳/۹۸	۲/۸۱	-۴۶٪
۳	Re^*	۹۷/۹۶	۸۱/۹۹	-۲۰/۲٪
۴	Fr	۱/۲۳	۲/۷۹	+۴۷٪

جدول ۵- تاثیر درختان حاشیه و بدون حاشیه و درصد تغییرات در دی lit/se

درصد تغییرات	متوسط با درختان حاشیه‌ای	متوسط بدون درختان حاشیه‌ای	پارامتر	ردیف
-٪۲۹/۶۶	۰/۰۲۷	۰/۰۳۲	n	۱
-٪۱۵/۳	۱۰/۱۹	۱۱/۳۵	τ^*	۲
-٪۷	۱۶۵/۰۷	۱۷۵/۳۷	Re*	۳
+٪۱۵	۱/۲۴	۱/۰۳	Fr	۴

جدول ۶- تاثیر درختان حاشیه و بدون حاشیه و درصد تغییرات در دی lit/se

درصد تغییرات	متوسط با درختان حاشیه‌ای	متوسط بدون درختان حاشیه‌ای	پارامتر	ردیف
-٪۵۱	۰/۰۰۸۹	۰/۰۱۲	n	۱
-٪۱۶	۱/۱۰	۱/۲۶	τ^*	۲
-٪۷/۶	۵۱/۰۸	۵۴/۷۳	Re*	۳
+٪۲۷	۲/۴۵	۱/۵۱	Fr	۴

۵- فهرست منابع

محمدی، س.، ۱۳۹۱. مدل سازی عدی جریان به کمک ضریب زبری دینامیک، فصل نامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۳، شماره ۹.

ابراهیمی، ن.ق.، ۱۳۸۷. تخمین ضریب زبری پوشش گیاهی مستغرق در بستر رودخانه جهت کالیبراسیون مدل های ریاضی، رساله دکترای سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

Cowan, W.L., 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients. Agricultural Engineering, v. 37(7): 473-475.

Yang, D., Yafei, M.ASCE., and Sam, S.Y.W. 2004. Identification of manning's roughness coefficient in shallow water flow. J. Hydraul. Eng., 130(6): 501-510

Bathurst, J.C., 1985. Flow resistance estimation in Mountain Rivers. J. Hydr. Eng. ASCE, 111

Jarrett, R.D., 1984. Hydraulics of high-gradient streams. J. Hydr. Eng., ASCE, 110 (11): 1519

Chow, Ven, T., 1959. Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill, New York

Barens, H. H. Jr., 1967. Roughness Characteristics of natural Channels. U.S. geological Survey Water supply Paper 1849 (Second Printing 1977)

Rice, C.E., Kadavy, K.C. and Robinson, K.M., 1998. Roughness of loose rock riprap on steep slopes. J. Hydr. Engrg., ASCE, 124 (2): 179-185.

Yen, BC., 2002. Open Channel Flow Resistance. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 128: 20-39.

Afzalimehr, H. and Anctil, F., 1998. Estimation of gravel-bed river flow resistance. J. Hydr. Engrg., ASCE, 124 (10): 1054-1058.