

بررسی اثرات شکل‌های بستر شنی با تاج مسطح و پوشش گیاهی دیوار بر پارامترهای جریان آشفته

شهرزاد داورپناه جزی^۱، عبدالرضا کبیری سامانی^{۲*} و حسین افضل‌ی مهر^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

akabiri@cc.iut.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۸/۱۳]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۱۲/۲۵]

چکیده - پوشش گیاهی با ایجاد زبری در دیواره کانال‌ها و دشت‌های سیلابی رودخانه‌ها بر شکل هندسی، هیدرولیک و مقاومت جریان تأثیر گذاشته و مکانیزم انتقال رسوب را تغییر می‌دهد. با توجه به اهمیت شکل‌های بستر نظیر تلماسه‌ها در کنترل میزان انتقال رسوب، تولید آشفته‌گی و ایجاد مقاومت جریان، مطالعه اثرات شکل‌های بستر شنی و پوشش گیاهی بر ساختار جریان ضروری به نظر می‌رسد. هدف از پژوهش حاضر مطالعه ساختار جریان بر روی تلماسه‌های شنی با تاج مسطح به همراه پوشش گیاهی در دیواره است. برای دستیابی به این هدف تعداد هفت تلماسه مصنوعی با تاج مسطح در طول یک کانال آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. اندازه‌گیری داده‌های سرعت و آشفته‌گی با استفاده از سرعت‌سنج صوتی انجام شد. نتایج نشان داد که در تلماسه‌های با تاج مسطح بر خلاف تلماسه‌های با تاج تیز، در هر دو حالت وجود و عدم وجود پوشش گیاهی، پارامتر سرعت بعد از تاج مسطح مقادیر منفی به خود نمی‌گیرد. تنش‌های رینولدز در حالت وجود نسبت به حالت عدم وجود پوشش گیاهی بیشتر هستند که این موضوع را می‌توان به افزایش مقاومت جریان در حضور پوشش گیاهی نسبت داد.

واژگان کلیدی: تلماسه شنی، پوشش گیاهی، تنش رینولدز، جریان آشفته.

۱- مقدمه

یکی از راه‌های شناسایی رفتار رودخانه‌ها بررسی ساختار جریان و مطالعه شکل‌های بستر است. از رایج‌ترین شرایط مرزی در رودخانه‌های آبرفتی، بسترهای متحرک پوشیده از شکنجه‌ها^۱ و تلماسه‌ها^۲ است [۱]. تلماسه‌ها در محدوده ای وسیعی از ذرات بسیار ریز و درشت ماسه تا ذرات درشت شن تشکیل می‌شوند. در ابعادی مانند تلماسه‌ها، شکل‌های بستر به صورت مانعی در مقابل جریان عمل کرده و مقاومت هیدرولیکی کانال را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مطالعات افضل‌ی مهر و همکاران نشان می‌دهد که در حالت وجود شکل بستر، بیش از ۷۰٪ مقاومت جریان ناشی از اثر شکل بستر

بوده و فقط تا ۳۰٪ ناشی از اندازه زبری ذره است [۲]. شکل‌گیری، انهدام و پایداری شکل‌های بستر، به شرایط جریان وابسته است [۳ و ۴]. تحقیقات آزمایشگاهی زیادی در زمینه جریان بر روی شکل‌های بستر به خصوص در جریان زیربحرانی صورت گرفته است. از نمونه مطالعات اخیر در این رابطه، می‌توان به تحقیقات بارثولدی و همکاران^۳ [۵]، ونڈیتی و همکاران^۴ [۶]، ونڈیتی [۷]، استوسر و همکاران^۵ [۸]، مزومدر و همکاران^۶ [۹]، افضل‌ی مهر و همکاران [۱۰]، نصیری [۱۱] و نصیری و همکاران [۱۲ و ۱۳] و سایرین اشاره نمود. آزمایش‌های ون‌میرلو و دروایت^۷ به‌عنوان اولین مطالعه

3-Bartholdy *et al.*

4-Venditti *et al.*

5-Stoesser *et al.*

6-Mazumder *et al.*

7-Van Mierlo and de Rooter

1-Ripples

2-Dunes

تحقیقات دو ناحیه مجزا شامل ناحیه جابه‌جایی افقی مومنتوم در مسیر انتقال افقی جریان و ناحیه جابه‌جایی عمودی مومنتوم در بالای پوشش گیاهی قابل تشخیص است [۱۹]. ویلسون و همکاران^{۱۳} به بررسی اثر دو شکل پوشش گیاهی قابل انعطاف (برگ‌دار و بدون برگ) بر روی ساختار جریان آشفته پرداختند. آنها روش‌هایی برای کمی‌سازی میزان سختی، انعطاف‌پذیری و رابطه سرعت و نیروی پسا در حضور پوشش گیاهی ارائه کردند [۲۰]. وایت و نپف^{۱۴} آزمایش‌هایی در کانالی با ردیف‌هایی از میله‌های استوانه‌ای به عنوان نماینده پوشش گیاهی غیرمستغرق انجام دادند. طبق نتایج آنها اختلاف نیروی پسا بین دشت سیلابی و کانال اصلی باعث ایجاد نقطه عطف در پروفیل سرعت می‌شود [۲۱]. افزلی‌مهر و دی^{۱۵} برهم‌کنش پوشش گیاهی دیواره و بستر شنی را بر توزیع‌های سرعت (به ویژه محل وقوع سرعت بیشینه) و تنش رینولدز در جریان یکنواخت بررسی نمودند [۲۲]. نتایج آنها نشان داد که بیشینه سرعت در زیر سطح آب تا ۳۵ درصد عمق جریان رخ می‌دهد و اختلاف بین بیشترین مقدار سرعت و سرعت در سطح آب در حضور پوشش گیاهی بر روی دیواره‌های کانال قابل توجه است.

شناخت توزیع سرعت جریان و شدت‌های آشفتگی در مجاورت دیواره‌هایی که به واسطه گیاهان پوشش داده شده‌اند همراه با ذرات شن در کف کانال، اطلاعات مفیدی را در ارتباط با تغییرات شکل‌های بستر تحت جریان‌های غیریکنواخت در اختیار قرار می‌دهد. در این پژوهش به بررسی تأثیر تغییر شکل تاج تلماسه‌ها بر ساختار جریان آشفته در حضور پوشش گیاهی پرداخته می‌شود. با توجه به اینکه اکثر تحقیقات گذشته بر روی تلماسه‌های با تاج تیز و بدون حضور پوشش گیاهی انجام گرفته است، در این پژوهش سعی شده که با استفاده از تلماسه‌های دارای تاج مسطح به همراه پوشش گیاهی در دیواره کانال بتوان به مقایسه‌ای در زمینه توزیع سرعت و تنش برشی در این دو نوع تلماسه دست یافت.

دقیق در ارتباط با جزئیات جریان بر روی یک سری تلماسه‌های ثابت شناخته شده است. در آزمایش‌های ون‌میرلو و دروینته پروفیل‌های سرعت لحظه‌ای به وسیله دستگاه سرعت‌سنج LDA^۱ اندازه‌گیری شده است [۱۴]. بنت و بست به مطالعه جزئیات ساختار آشفتگی و توزیع سرعت جریان با استفاده از دستگاه LDA بر روی ۷ تلماسه ثابت دوبعدی از جنس سیمان به طول موج ۰/۶ متر و ارتفاع ۰/۴ متر با زاویه ایستایی ۳۰ درجه در پایین دست پرداختند [۱۵]. آنها دریافتند که بزرگ‌ترین تنش‌های برشی در داخل محدوده جدایی جریان و در راستای لایه برشی قرار دارند. مطالعات فدل و گارسیا^۹ نشان داد که شیب پروفیل سرعت در حضور اشکال بستر، در نزدیکی بستر متفاوت از نزدیکی آب است. همچنین آنها نشان دادند که نقطه حداکثر تنش رینولدز مربوط به نقطه انحراف لایه داخلی از لایه خارجی است [۱۶]. مشاهدات رادکیوی^{۱۱} نشان داد که سرعت گسترش شکل‌های بستر به صورت معکوس با ارتفاع آنها متناسب است، به نحوی که شکل‌های کوتاه‌تر، سریع‌تر حرکت کرده و به شکل‌های بزرگ‌تر می‌رسند [۱۷]. مزومدر و همکاران در یک مطالعه آزمایشگاهی به بررسی تفاوت ساختار جریان بر روی شکل‌های بستر متقارن و نامتقارن پرداختند [۹]. بر اساس مطالعات ایشان، عدم تشابه در اندازه ناحیه جدایی، باعث تفاوت قابل توجه ساختارهای جریان متوسط و آشفتگی می‌شود. در حضور پوشش گیاهی لایه مرزی رشد کرده و سرعت در داخل این لایه کاهش می‌یابد. علاوه بر این از اندازه حرکت جریان با حضور پوشش گیاهی به دلیل افزایش مقاومت جریان کاسته می‌شود [۱۸]. نپف و کوچ^{۱۱} به بررسی مؤلفه‌های آشفتگی جریان در حضور پوشش گیاهی مستغرق با تراکم‌ها و سرعت‌های مختلف جریان پرداختند [۱۸]. نپف و وی‌وونی^{۱۲} به بررسی و مقایسه شرایط پوشش گیاهی مستغرق ($H/h > 1$) که در آن H ارتفاع آب و h ارتفاع پوشش گیاهی است) و غیرمستغرق ($H/h \geq 1$) پرداختند. طبق این

8-Laser Doppler Anemometer

9-Fedele and Garcia

10-Roudkivi

11-Nepf and Koch

12-Nepf and Vivoni

13-Wilson et al.

14-White and Nepf

15-Afzalimehr and Dey

۲ - مدل سازی آزمایشگاهی و ابزار اندازه گیری

راستاهای جریان محاسبه و مورد تحلیل قرار گرفتند. شایان ذکر است که در این پژوهش، داده‌های با همبستگی کوچکتر از ۷۰ درصد و نسبت سیگنال به نویز کوچکتر از ۱۵ db حذف گردید. به منظور شبیه سازی شرایط طبیعی در ارتباط با پوشش گیاهی از گیاهی به نام خومه استفاده شد. خومه گیاهی با نام‌های فارسی قیاق یا حلیط و نام لاتین **Johnson grass** است (شکل ۱).

شکل (۱) ساقه‌های گیاه خومه چسبانده شده بر روی کارتن پلاست، مورد استفاده در تحقیق حاضر



Figure 1. Johnson grass stems attached on carton plast used in the present study

شکل (۲) شمای یک تلماسه با تاج مسطح

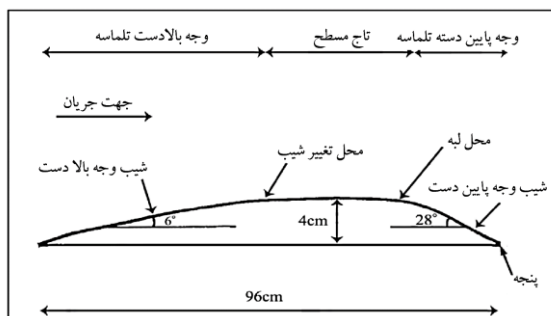


Figure 2. Schematic of a dune with flat crest

ابعاد تلماسه‌ها با توجه به ابعاد مشاهده شده در تحقیقات قبلی انتخاب گردید. کارلینگ و همکاران در تلماسه‌های شنی نسبت ارتفاع تلماسه به طول موج آن یا H/L را بین ۰/۰۲۳ تا ۰/۱۴ گزارش کردند [۲۴]. بر این اساس نسبت H/L در این تحقیق با در نظر گرفتن $H = 4 \text{ cm}$ و $L = 96 \text{ cm}$ معادل ۰/۰۴ لحاظ گردید. همچنین زاویه وجه پایین دست تلماسه ۲۸ و زاویه وجه بالادست آن ۶ درجه در نظر گرفته شد. شکل (۲) جزئیات یک تلماسه با تاج مسطح را نشان می‌دهد. در

مدل سازی آزمایشگاهی درون کانالی به طول ۸ متر، عرض ۰/۴ متر و عمق ۰/۶ متر با سطح مقطع مستطیلی انجام شده است. دیواره‌ها و کف کانال از جنس پلکسی گلاس^{۱۶} شفاف بوده و شیب کف با استفاده از اهرمی در زیر کانال قابل تغییر است. آب در یک چرخه بسته به وسیله یک پمپ سانتریفیوژ از مخزن اصلی وارد لوله رانش و سپس لوله ورودی کانال شده و پس از آرام شدن، وارد کانال آزمایشگاهی می‌گردد. حداکثر دبی پمپ ۴۰ لیتر بر ثانیه است. به منظور آرام تر شدن جریان از چند صافی آرام کننده و تشک‌های گابیونی در مخزن ورودی و بستر پوشانده از شن درشت در ابتدای کانال آزمایشگاهی استفاده شد. دبی جریان به وسیله یک دستگاه دبی سنج الکترومغناطیسی با دقت ۰/۵ درصد، اندازه گیری می‌شد. برای اندازه گیری عمق جریان عمق سنج متحرک، با دقت ۰/۵ میلی متر، به کار گرفته شد.

برای اندازه گیری سرعت جریان آب در سه بعد، دستگاه سرعت سنج صوتی **ADV** مورد استفاده قرار گرفت. اندازه گیری سرعت در فاصله ۵۰ میلی متری از فرستنده در مرکز حجم نمونه گیری با قطر ثابت ۶ میلی متر و ارتفاع قابل تنظیم ۳ تا ۱۵ میلی متر صورت می‌گیرد. دستگاه **ADV** مورد استفاده در این تحقیق از نوع **Vectorino+** سری ۱/۰۹ از نسل جدید سرعت سنج‌های سه بعدی است. بر اساس دستورالعمل استفاده از این دستگاه دقت آن برابر با ± 0.5 درصد مقادیر اندازه گیری شده 1 mm/s است [۲۳]. در تحقیق حاضر بسته به حداکثر سرعت مشاهده شده در هر سری از آزمایش‌ها این دامنه بین ۰/۳ تا ۱ متر در ثانیه تغییر می‌کرد. با استفاده از تحلیل‌های آماری، محاسبه مقیاس زمانی ساختارهای آشفتگی و مقایسه اندازه گیری‌های انجام شده، مدت زمان اندازه گیری سرعت در هر نقطه ۲ دقیقه در نظر گرفته شد. کلیه داده‌های اندازه گیری شده توسط دستگاه سرعت سنج، ابتدا با استفاده از نرم افزار **WinADV** غربال شده و سپس پارامترهای سرعت و آشفتگی نظیر هر یک از

ترتیب ۱۲/۶، ۶/۳ و ۱/۳ سانتی‌متر بود. آزمایش‌های سری اول در شرایط عدم حضور پوشش گیاهی در دیوار و در امتداد محور مرکزی کانال صورت پذیرفت. آزمایش‌های سری دوم تقریباً مشابه با آزمایش‌های سری اول انجام شد. با این تفاوت که در سری دوم پوشش گیاهی در دیواره کانال وجود داشت. در شکل (۴) نمایی از آزمایش‌های سری دوم نشان داده شده است.

شکل (۴) نمایی از آزمایش‌های سری دوم



Figure 4. Sample image of the tests of group two

در سری سوم از آزمایش‌ها نیز ارتفاع، طول موج و زاویه ایستایی ثابت و به ترتیب برابر ۰/۰۴ متر، ۰/۹۶ متر و ۲۸ درجه بود. با توجه به ثابت نگه داشتن میزان بازشدگی دریچه و میزان آب ورودی به کانال، عمق جریان برابر با ۲۸ سانتیمتر و مشابه با سری اول و دوم به دست آمد. تنها تفاوت این سری با دو سری قبل این بود که اندازه‌گیری‌ها در فاصله ۴ سانتی‌متری از دیوار (پوشش گیاهی) و در حد فاصل تاج مسطح تلماسه‌های پنجم و ششم، پس از ثابت ماندن شرایط جریان انجام گرفت. خلاصه‌ای از شرایط هیدرولیکی و خصوصیات هندسی آزمایش‌های مختلف انجام شده در تحقیق حاضر به ترتیب در جداول (۱) و (۲) ارائه شده است. شمای کلی مدل آزمایشگاهی و اجزای مربوطه در شکل (۵) نمایش داده شده است.

جدول (۱) شرایط هیدرولیکی آزمایشات انجام شده در پژوهش حاضر

سری آزمایشی			
سوم	دوم	اول	
۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	دبی (m^3/s)
۲۴ و ۲۸	۲۴ و ۲۸	۲۴ و ۲۸	بیشینه و کمینه مقدار عمق آب (cm)
۱/۴۳ و ۱/۶۷	۱/۴۳ و ۱/۶۷	۱/۴۳ و ۱/۶۷	بیشینه و کمینه مقدار نسبت ظرافت (W/h)

Table 1. Hydraulic characteristics of the present experiments

شکل (۳) نیز تصاویری از تلماسه‌های شکل داده شده ارائه شده است. در طی انجام این پژوهش در مجموع سه سری آزمایش انجام شد. در سری اول آزمایش‌ها ۱۷ پروفیل و در سری‌های دوم و سوم تعداد ۲۱ پروفیل سرعت برداشت گردید. در سری اول آزمایش‌ها تلماسه‌ها با طول موج $0.96 = L$ متر، ارتفاع 0.04 متر، زاویه ایستایی ۲۸ درجه و عمق جریان 0.28 متر انتخاب گردیدند.

شکل (۳) نمایی از یک تلماسه با تاج مسطح مربوط به آزمایش‌های سری اول



Figure 3. Images of the dunes with flat crest in the first group of the tests

در این سری از آزمایش‌ها ۱۷ پروفیل، شامل ۶ پروفیل بر روی تاج مسطح، ۵ پروفیل در امتداد کانال بر روی شیب وجه بالادست و ۶ پروفیل نیز بر روی شیب وجه پایین‌دست تلماسه برای اندازه‌گیری سرعت جریان در سه بعد در نظر گرفته شد. فاصله پروفیل‌های سرعت در امتداد تاج مسطح، شیب وجه بالادست و پایین‌دست تلماسه‌های مورد مطالعه به

جدول (۲) خصوصیات هندسی و مشخصات شکل‌های بستر به کار رفته در پژوهش حاضر

سری آزمایشی			
سوم	دوم	اول	
۲۱	۲۱	۱۷	تعداد پروفیل
دارد	دارد	ندارد	پوشش گیاهی
۴ سانتی‌متری از پوشش	محور وسط	محور وسط	محل برداشت پروفیل‌ها در کانال
۴	۴	۴	ارتفاع تاج تلماسه (cm)
۹۶	۹۶	۹۶	طول موج تلماسه (cm)
۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	نسبت ارتفاع به طول موج تلماسه (H/L)
۲۸	۲۸	۲۸	زاویه وجه پایین‌دست (درجه)
۶	۶	۶	زاویه وجه بالادست (درجه)

Table 2. Geometrical characteristics of the bed-forms considered in the present study

شکل (۵) شکل شماتیک مدل آزمایشگاهی

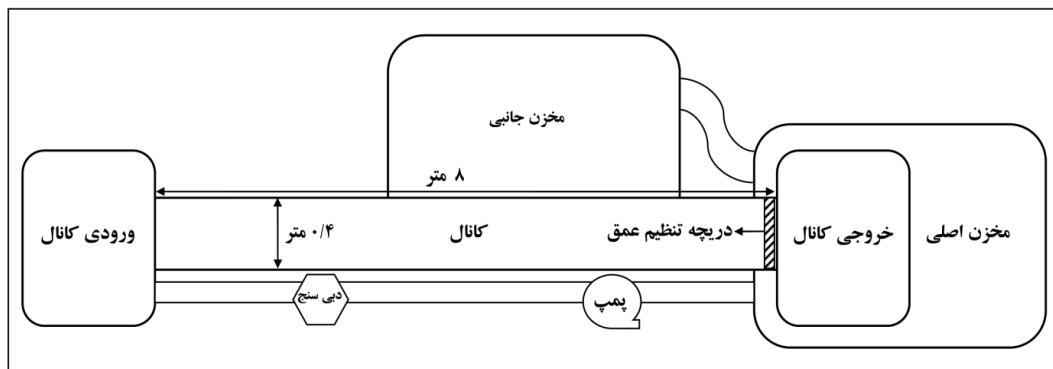


Figure (5) Schematic of the experimental setup

۳ - تحلیل نتایج

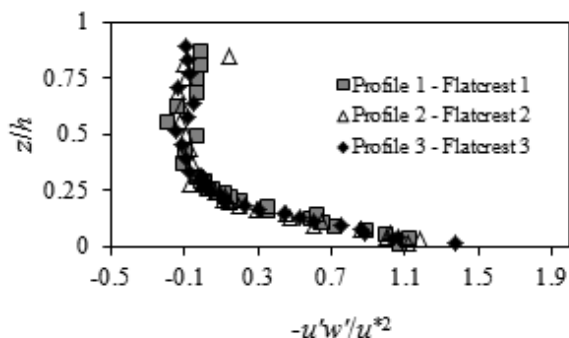
w' و v' ، $-u'w'$ نیز بایستی در مقاطع مختلف کانال هم‌شکل باقی بمانند. بر اساس مطالعات نصیری و همکاران [۱۲] و [۱۳] در کانال آزمایشگاهی مشابه با کانال مورد استفاده در پژوهش حاضر، جریان از فاصله حدود ۵ متری از ورودی کانال (علاوه بر توسعه یافته بودن) حالت متعادل به خود گرفت. در پژوهش حاضر نیز هم‌شکلی و انطباق مولفه‌های آشفتگی علاوه بر هم‌شکل بودن پروفیل‌های سرعت در فاصله حدود ۵ متری از ورودی، متعادل بودن جریان را نشان داد. در شکل (۶) پروفیل‌های بدون بعد سرعت در راستای جریان در آزمایش‌های سری اول نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که پروفیل‌های سرعت با شروع از تاج مسطح به تدریج به صفر نزدیک شده و مجدداً به مکان اولیه خود بر روی تاج مسطح برمی‌گردند.

به منظور تشخیص ناحیه توسعه یافتگی جریان در طول کانال، جهت تعیین محل شروع داده‌برداری در آزمایش‌ها، بایستی پروفیل‌های سرعت در این مقاطع رسم گردد. شایان ذکر است که پژوهش‌های جدید نشان می‌دهند که عوامل dh/dx (تغییر در راستای جریان) یا dv/dx (تغییر سرعت در راستای جریان) به تنهایی معیارهای مناسبی برای تعریف غیریکنواختی جریان نیستند. بر اساس مطالعات افضل‌ی مهر و دی، با وجود ثابت ماندن عمق جریان، توزیع تنش برشی یکنواخت نبوده و حالت غیرخطی دارد [۲۲]. بدین ترتیب هم‌شکل بودن پروفیل‌های سرعت به تنهایی شرطی لازم برای تعادل جریان بوده ولی شرطی کافی نیست و نمی‌تواند نشان دهنده متعادل بودن جریان باشد. در جریان متعادل علاوه بر پروفیل سرعت، پروفیل مشخصه‌های آشفتگی مانند u'

متغیر بوده که این مقادیر در محدوده عمق نسبی (z/h) $0/25$ تا $0/38$ اتفاق می‌افتند. مطابق نظریه بنت و بست هنگامی که نمودارهای سرعت در دو قله مجاور، مشابه با یکدیگر باشند، می‌توان گفت که جریان نسبتاً متعادل است [۱۵]. با توجه به شکل پروفیل‌های موجود بر تاج‌های مسطح کاملاً مشابه یکدیگرند. بیشترین مقادیر سرعت در تاج مسطح در محدوده $0/28$ تا $0/37$ cm/s تا 35 cm/s بوده که در عمق نسبی $0/28$ تا $0/37$ اتفاق می‌افتد. بنابراین طبق نظریه فوق در این آزمایش جریان به تعادل نسبی رسیده بوده است. در واقع تاج مسطح تلماسه‌ها در این پژوهش مشابه یک بستر مسطح رفتار می‌نماید و با توجه به طول نسبتاً زیاد آن ($50/4$ سانتی‌متر) می‌توان در تأیید تعادل جریان از آنها کمک گرفت. برای بررسی پروفیل‌های بدون بعد تنش رینولدز $(-u'w'/u^{*2})$ در طول یک تلماسه در شرایط عدم وجود پوشش گیاهی، شکل‌های (۷) ارائه شده‌اند.

نتایج نشان می‌دهند که در تمامی پروفیل‌ها توزیع تنش رینولدز دارای حالت غیرخطی است. با توجه به شکل (۷) می‌توان دریافت که پروفیل‌های تنش رینولدز در مرکز کانال، از کف تا عمق نسبی $z/h=0/25$ دارای مقادیر مثبت بوده و در عمق‌های بیشتر مقدار منفی به خود می‌گیرند. روند کلی تغییرات توزیع تنش در تمامی پروفیل‌ها یکسان بوده به طوری که از بستر تا عمق نسبی $z/h=0/25$ کاهش یافته و پس از آن روند افزایشی بسیار تدریجی است. اما تغییرات روند کاهشی بسیار محسوس‌تر از روند افزایشی صورت می‌پذیرد.

شکل (۷) پروفیل‌های بدون بعد تنش رینولدز $(-u'w'/u^{*2})$ در راستای جریان: الف- بر روی تاج مسطح، ب- بعد از تاج مسطح و ج- قبل از تاج مسطح در آزمایش‌های سری اول



شکل (۶) پروفیل‌های بدون بعد سرعت در راستای جریان: الف- بر روی تاج مسطح، ب- بعد از تاج مسطح و ج- قبل از تاج مسطح در آزمایش‌های سری اول

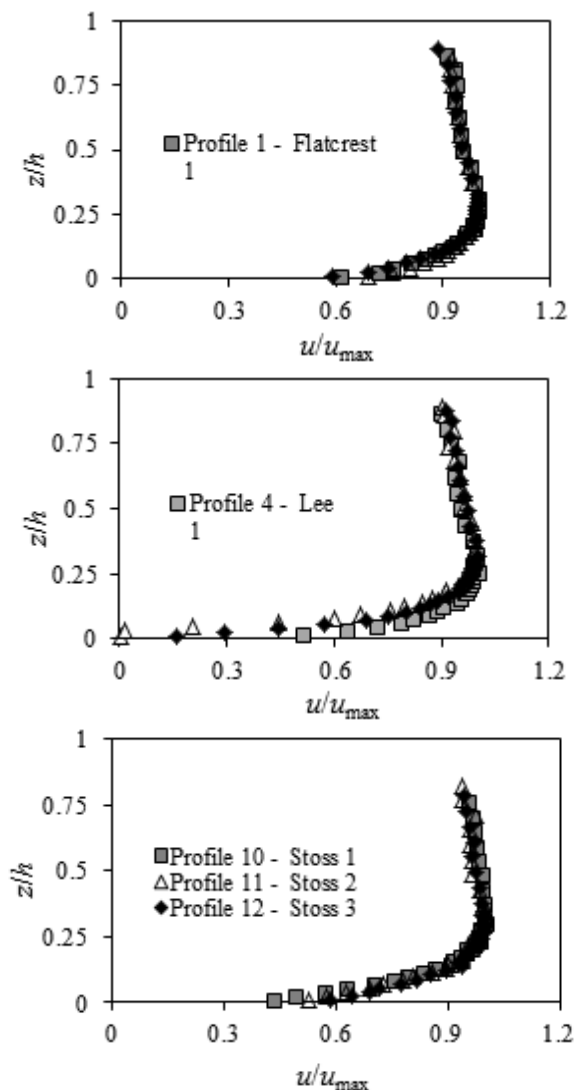


Figure 6. Non-dimensional longitudinal velocity profiles of the first group of the tests: a) over the flat crest, b) at lee of the dunes and c) at stoss of the dunes

این روند به دلیل وجود جریان‌های شبه‌یکنواخت، تندشونده و کندشونده به ترتیب بر روی تاج مسطح، قبل از تاج مسطح (شیب وجه پایین‌دست) و بعد از تاج مسطح (شیب وجه پایین‌دست) است. با توجه به شکل پروفیل‌ها در مقاطع مختلف می‌توان دریافت که سرعت بدون بعد (u/u_{max}) در نزدیکی بستر کانال حداقل بوده و تا حدود $z/h=0/3$ روند افزایشی شدیدی دارد. سپس این مقادیر کاهش می‌یابند ولی روند کاهشی آنها بسیار کندتر از روند افزایشی آنها است. در این پروفیل‌ها بیشینه مقادیر سرعت از 30 cm/s تا 35 cm/s

سری اول) پروفیل‌های سرعت با شروع از تاج مسطح به تدریج به صفر نزدیک شده و مجدداً به مکان اولیه خود بر روی تاج مسطح برمی‌گردند. با توجه به شکل (۸) می‌توان دریافت که در این سری از آزمایش‌ها نیز حداقل مقدار سرعت در بستر رخ داده و سپس روند افزایشی را در پیش می‌گیرد. در آزمایش‌های سری دوم (مانند سری اول) بیشینه مقدار سرعت جریان در زیر سطح آب ولی بر خلاف سری اول در عمق نسبی بیش از ۰/۳ اتفاق می‌افتد. با مشاهده شکل (۸) و همچنین بررسی داده‌ها ملاحظه می‌گردد که در حالت وجود پوشش گیاهی در دیواره کانال بیشترین مقدار سرعت در پروفیل‌های واقع در محور مرکزی در محدوده عمق نسبی ۰/۳۲ تا ۰/۵۸ رخ می‌دهد. دامنه بیشینه مقادیر سرعت از 42 cm/s تا 45 cm/s متغیر است. پوشش گیاهی با ایجاد جریان‌های عرضی در قسمت جانبی کانال جریان را وادار به حرکت به سمت مرکز می‌کند. بنابراین با حرکت جریان از دیوار به سمت مرکز و از سطح آب به سمت کف، سرعت بیشینه به زیر سطح آب رانده می‌شود. پروفیل‌های بی‌بعد تنش‌های رینولدز در شکل (۹) ارائه گردیده‌اند. با توجه به این شکل در محدوده عمق نسبی ۰/۰۵ تا ۰/۱ نمودارهای بی‌بعد تنش تغییر جهت می‌دهند. بدین ترتیب که در ابتدا تا محدوده فوق افزایش یافته و پس از آن روند کاهشی دارند. همچنین مقادیر تنش برشی در نزدیکی سطح آب منفی هستند که این موضوع برش بسیار کم در این منطقه و تأثیر سطح آزاد آب را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در آزمایش‌های سری اول هم اشاره شد، از آنجایی که هندسه تلماسه قادر نیست تا این لایه در نزدیکی سطح آزاد آب را تحت تأثیر قرار دهد، کمینه مقدار تنش در نزدیکی سطح آب اتفاق می‌افتد. نتایج مطالعات نصیری و همکاران تا حدودی با نتایج پژوهش حاضر متفاوت است. بر اساس این مطالعات در مقاطع واقع در بالادست تاج تلماسه و در تاج تلماسه یک نقطه زانویی شکل در عمق نسبی ۰/۲۵ وجود داشت [۱۲]. در عمق‌های نسبی کوچک‌تر از ۰/۲۵ با کاهش عمق نسبی تنش رینولدز هم کاهش یافته و برعکس در مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۲۵ با کاهش عمق نسبی تنش رینولدز روند افزایشی داشت. در

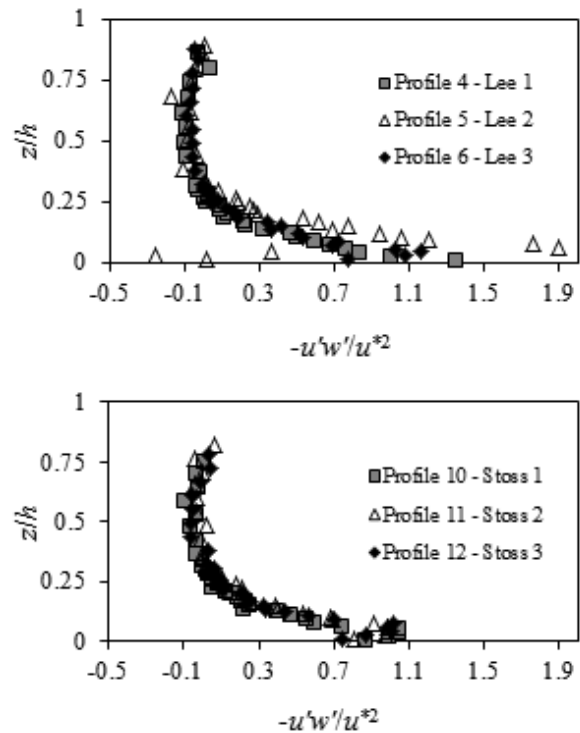


Figure 7. Non-dimensional longitudinal Reynolds stress profiles of the first group of the tests: a) over the flat crest, b) at lee of the dunes and c) at stoss of the dunes

بدین ترتیب با وجود غیرخطی بودن توزیع تنش رینولدز، بیشینه مقدار این توزیع در محور مرکزی کانال بر روی بستر رخ می‌دهد. در شکل (۷) u^* به کارگیری روش تنش برشی رینولدز به دست آمده است. در این روش ابتدا نمودار $-\overline{u'w'}$ و یا $-\rho\overline{u'w'}$ در مقابل z/h برای هر پروفیل ترسیم می‌شود. سپس به نقاط نمودار مورد نظر بسته به محل آن پروفیل، خط و یا منحنی برازش داده می‌شود و مقدار تنش برشی کف کانال با استفاده از رابطه (۱) در $z=0$ به دست می‌آید.

$$\tau_0 = -\rho\overline{u'w'} \quad (1)$$

سپس با مساوی قرار دادن رابطه‌ی (۱) و رابطه تنش برشی جداره با سرعت برشی به صورت رابطه‌ی (۲)، مقدار سرعت برشی محاسبه می‌گردد. در این روابط، ρ چگالی آب، u^* سرعت برشی و u' و w' به ترتیب نوسان‌های سرعت در راستای جریان و عمود بر آن هستند.

$$\tau_0 = -\rho u^{*2} \quad (2)$$

شکل (۸) پروفیل‌های بدون بعد سرعت را در راستای جریان برای آزمایش‌های سری دوم نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در این شکل نیز (مانند نتایج آزمایش‌های

برشى در لايه نزديك سطح آب حداقل است. زيرا هندسه تلماسه روى اين قسمت تأثيرگذار نيست. بر اساس مطالعات بنت و بست مقادير تنش منفى تقابل جريان به سمت داخل و به سمت خارج را تعيين مى‌نمايند [۱۵]، در حالى كه تنش‌هاى مثبت وجود پديده‌هاى حرکات پرتابى^{۱۷} و جاروبى^{۱۸} را بيان مى‌کنند.

شكل (۹) پروفيل‌هاى بدون بعد تنش رينولدز ($-u'w'/u^{*2}$) در راستاى جريان: الف - بر روى تاج مسطح، ب- بعد از تاج مسطح و ج- قبل از تاج مسطح در آزمایش‌هاى سري دوم

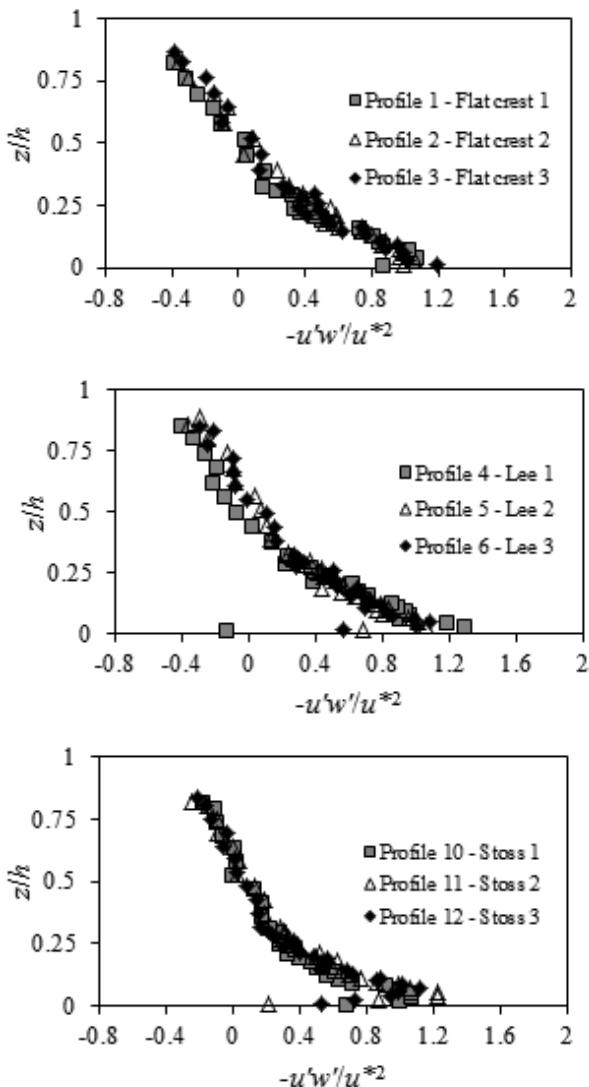


Figure 9. Non-dimensional longitudinal Reynolds stress profiles of the second group of the tests: a) over the flat crest, b) at lee of the dunes and c) at stoss of the dunes

مقطع واقع در پايين‌دست تاج تلماسه، با افزايش در عمق نسبي آب، تنش رينولدز تا $z/h=0.3$ افزايش يافته و پس از آن روند كاهشى دارد.

شكل (۸) پروفيل‌هاى بدون بعد سرعت در راستاى جريان: الف- بر روى تاج مسطح، ب- بعد از تاج مسطح، ج- قبل از تاج مسطح در آزمایش‌هاى سري دوم

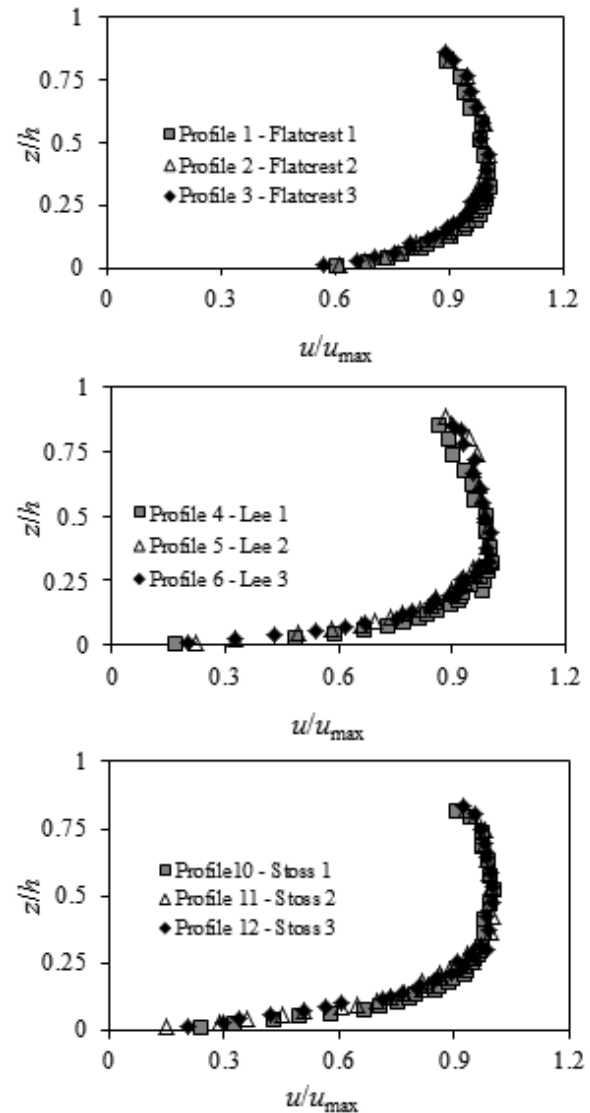


Figure 8. Non-dimensional longitudinal velocity profiles of the second group of the tests: a) over the flat crest, b) at lee of the dunes and c) at stoss of the dunes

مطابق يافته‌هاى بنت و بست [۱۵] و نصيرى [۱۱] بيشينه مقدار تنش رينولدز به ترتيب در $0.5L$ و $0.3L$ طول موج تلماسه است) به دست مى‌آيد. در پژوهش حاضر اين مقدار در $0.4L$ مشاهده گرديد. نتايج نشان مى‌دهد كه تنش

17- Ejection
18- Sweep

سری با دو سری قبل این بود که به منظور بررسی تأثیر فاصله از پوشش گیاهی بر روی جریان، اندازه‌گیری‌ها در فاصله ۴ سانتی‌متری از دیوار (پوشش گیاهی) و در حد فاصل تاج مسطح تلماسه‌های پنجم و ششم، پس از ثابت ماندن شرایط جریان، توسط دستگاه ADV انجام گرفت. در شکل (۱۰) پروفیل‌های بی‌بعد سرعت جریان ارائه شده‌اند. با ملاحظه این شکل می‌توان دریافت که شکل پروفیل‌های سرعت در این سری از آزمایش‌ها کمی با دو سری قبل متفاوت است به طوری که هر گاه برداشت داده در نزدیکی دیوار صورت پذیرد، پروفیل‌های سرعت شکل تقریبی S به خود می‌گیرند.

با حرکت جریان از تاج مسطح به سمت شیب وجه پایین‌دست، پروفیل‌های S شکل به سرعت حالت کشیده‌تری پیدا می‌کنند و به تدریج با حرکت به سمت تاج مسطح دوم دوباره شکل اولیه خود را باز می‌یابند. مانند آزمایش‌های پیشین در این سری از آزمایش‌ها نیز کمترین مقدار سرعت در نزدیکی بستر کانال رخ می‌دهد. تغییرات سرعت نسبت به عمق نسبی را در این سری می‌توان به چهار ناحیه به شرح زیر تقسیم نمود.

ناحیه اول؛ از بستر کانال تا $z/h=0/2$ مقادیر سرعت بی‌بعد به شدت افزایش می‌یابد. ناحیه دوم؛ از $z/h=0/2$ تا $z/h=0/4$ کاهش جزئی در مقادیر سرعت بی‌بعد وجود دارد. ناحیه سوم؛ از $z/h=0/4$ تا $z/h=0/7$ روند افزایشی در مقادیر بی‌بعد سرعت مشاهده می‌شود. ناحیه چهارم؛ از $z/h=0/7$ تا سطح آب مقادیر سرعت بی‌بعد مجدداً کاهش می‌یابد. به طور کلی محل وقوع بیشینه مقادیر سرعت در این سری از آزمایش‌ها در محدوده عمق نسبی $0/4$ تا $0/7$ اتفاق می‌افتد. در حالی که مطالعات افضلی‌مهر و دی بر بستر شنی و پوشش گیاهی در جدار نشان می‌دهد که برای دامنه نسبت ظرافت بین ۳ تا $4/5$ ، موقعیت سرعت بیشینه در فواصل مختلف از دیوار ثابت نبوده و از $z/h=0/2$ در فاصله ۲ سانتی‌متری از دیوار تا $z/h=0/45$ در مرکز کانال تغییر می‌کند [۲۲].

در شکل (۱۱) نمودار سرعت‌های بی‌بعد در سه مقطع روی تاج و قبل و بعد از آن نشان داده شده است. با توجه به این شکل می‌توان دریافت که مقادیر سرعت از بستر کانال تا عمق

شکل (۱۰) پروفیل‌های بدون بعد سرعت در راستای جریان: الف- بر روی تاج مسطح، ب- بعد از تاج مسطح و ج- قبل از تاج مسطح در آزمایش‌های سری سوم

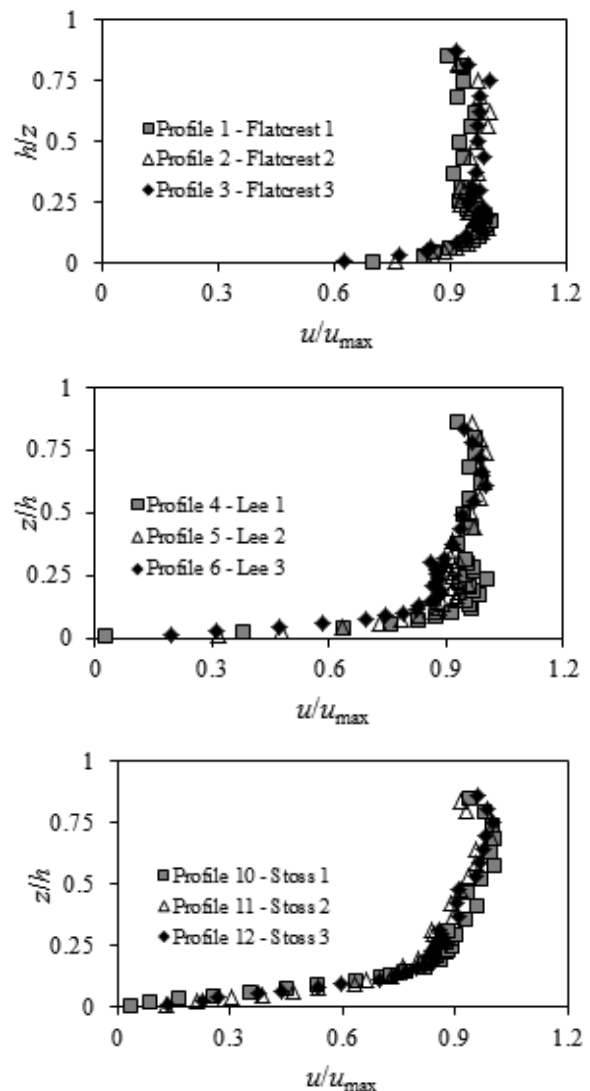


Figure 10. Non-dimensional longitudinal velocity profiles of the third group of the tests: a) over the flat crest, b) at lee of the dunes and c) at stoss of the dunes

با توجه به این نظریه می‌توان گفت که وجود مناطق گسترده منفی در نزدیکی سطح آب از این تقابل جریان ناشی می‌شود و تنش‌های مثبت در نزدیکی بستر نیز حرکات پرتابی و جاروبی را موجب می‌گردند. روند تقریباً معکوس با تنش‌های رینولدز τ_{xy} دارند. بدین معنی که مقادیر منفی در نزدیکی سطح آب و مقادیر مثبت در نزدیکی بستر گسترده شده‌اند. در سری سوم از آزمایش‌ها نیز ارتفاع، طول موج، زاویه ایستایی و عمق جریان به ترتیب برابر $0/04$ متر، $0/96$ متر، 28 درجه و 28 سانتیمتر ثابت در نظر گرفته شدند. تنها تفاوت این

وجود پوشش گیاهی از خود رفتارهای متفاوتی را نشان می‌دهند. در حالت عدم وجود پوشش گیاهی از عمق نسبی ۰/۱ تا مقادیر کوچک‌تر از ۰/۳ با کاهش عمق نسبی، تنش رینولدز افزایش می‌یابد. ولی در عمق‌های نسبی بزرگ‌تر از ۰/۳ رابطه عکس برقرار است. در حالت وجود پوشش گیاهی در دیوار در عمق‌های نسبی بزرگ‌تر از ۰/۱ در تمامی پروفیل‌ها با کاهش عمق نسبی، تنش رینولدز افزایش می‌یابد.

شکل (۱۱) پروفیل‌های بدون بعد سرعت در راستای جریان در فواصل مختلف از دیوار در حالت وجود و عدم وجود پوشش گیاهی: الف- قبل از تاج مسطح، ب- بر روی تاج مسطح و ج- بعد از تاج مسطح

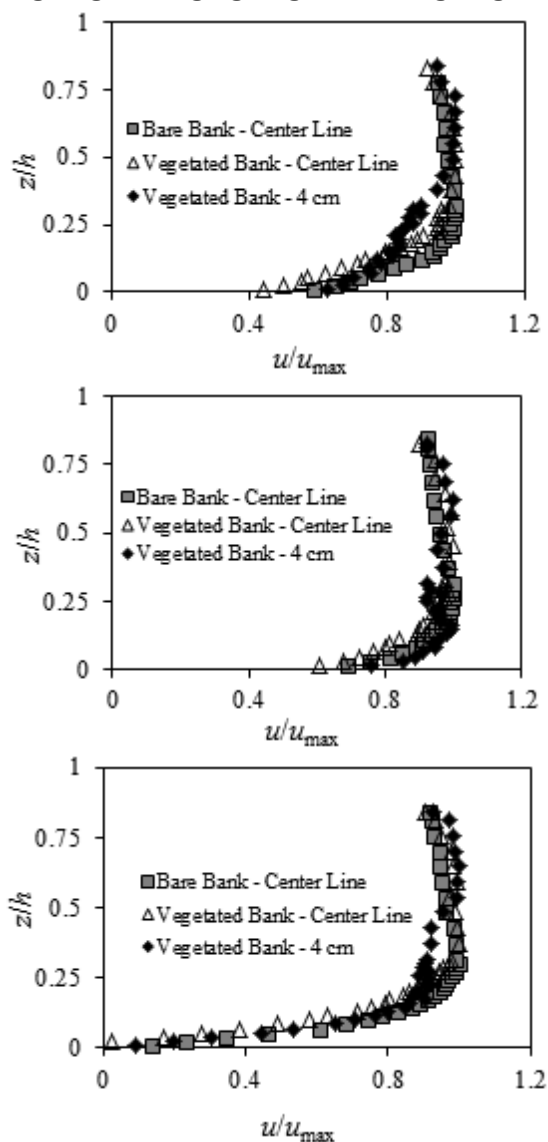


Figure 11. Non-dimensional longitudinal velocity profiles at different distances from the channel side-walls for bare and vegetated banks: a) at stoss of the dunes, b) over the flat crest and c) at lee of the dunes

نسبی حدود ۰/۲، در نزدیکی پوشش گیاهی بیشتر از مقادیر سرعت در محور مرکزی کانال است. اما در اعماق نسبی بیشتر از ۰/۲ مقادیر سرعت در نزدیکی پوشش گیاهی نسبت به محور مرکزی کوچک‌تر و یا تقریباً برابر است. از مقایسه نمودارهای بی‌بعد سرعت در دو حالت وجود و عدم وجود پوشش گیاهی در دیوار می‌توان دریافت که از بستر تا عمق نسبی ۰/۳ سرعت‌ها به یکدیگر نزدیک بوده ولی در اعماق نسبی بیشتر از ۰/۳ افزودن پوشش گیاهی به دیوار و مقاومت پوشش گیاهی باعث کاهش سرعت در جهت جریان در نزدیکی دیواره‌ها می‌شود. سرعت‌های بزرگ جریان به سمت دور شدن از دیواره‌ها حرکت می‌کنند و بدین ترتیب در شرایط وجود پوشش گیاهی گرادیان سرعت شدیدتری به وجود می‌آید که نشان دهنده مقادیر بزرگ تنش برشی است. به منظور بررسی پروفیل‌های بدون بعد تنش‌های رینولدز $(-u'w'/u^2)$ در فواصل مختلف از پوشش گیاهی، این پروفیل‌ها برای مقاطع واقع در تاج مسطح و قبل و بعد از آن در شکل (۱۲) ارائه شده‌اند. برای عمق نسبی بزرگ‌تر از ۰/۱۵ تنش رینولدز در محور مرکزی بیشتر از تنش در نزدیکی دیوار پوشیده شده از گیاه است. بدین ترتیب می‌توان چنین اظهار داشت که فاصله از پوشش گیاهی و تنش رینولدز دارای رابطه مستقیمی هستند. بدین معنی که هر چه فاصله از پوشش گیاهی کمتر شود، تنش رینولدز نیز کمتر خواهد بود. برای پروفیل‌های نزدیک به دیواره در حالت وجود پوشش معمولاً اعماق نسبی کمتر تنش رینولدز بیشتری دارند. همچنین در پروفیل‌های نزدیک دیوار برای عمق‌های نسبی کوچک‌تر از ۰/۲ با کاهش عمق نسبی تنش رینولدز افزایش یافته و پس از آن کاهش می‌یابد. به طور کلی در پروفیل‌های واقع در مرکز کانال برای عمق‌های نسبی کمتر از ۰/۶ تنش رینولدز در حالت وجود پوشش گیاهی در دیوار نسبت به حالت عدم وجود آن بیشتر است. همچنین در هر دو حالت وجود و عدم وجود پوشش گیاهی در دیوار یک نقطه زانویی شکل در عمق نسبی حدود ۰/۱ وجود دارد. در عمق‌های کمتر از ۰/۱ با کاهش عمق نسبی در هر دو حالت، تنش رینولدز کاهش یافته ولی برای عمق‌های بزرگ‌تر از ۰/۱ دو حالت وجود و عدم

کوچکی داشته و به صفر نزدیک هستند. طوری که بیشترین مقدار آنها برابر با $0.2 Pa$ است. شایان ذکر است که روند تغییرات توزیع τ_{xy} در پژوهش حاضر با مطالعات نصیری [۱۱] همخوانی خوبی دارد. تنش‌های برشی τ_{yz} روند مشابهی با تنش‌های رینولدز τ_{xz} و روند تقریباً معکوس با تنش‌های رینولدز τ_{xy} دارند. بدین معنی که مقادیر منفی در نزدیکی سطح آب و مقادیر مثبت در نزدیکی بستر گسترده شده‌اند.

۴ - جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با افزودن پوشش گیاهی به دیواره‌های کانال، سرعت در جهت جریان در محور مرکزی کانال افزایش یافت و این موضوع در ناحیه خارجی جریان بیشتر قابل توجه بود. در دو حالت وجود و عدم وجود پوشش گیاهی در دیوار از بستر تا عمق نسبی 0.3 سرعت‌ها به یکدیگر نزدیک بوده ولی در اعماق نسبی بیشتر از 0.3 افزودن پوشش گیاهی افزایش سرعت جریان را به دنبال داشت. از آنجایی که مقادیر بزرگ سرعت جریان به سمت دور شدن از دیواره‌ها حرکت می‌کنند، در شرایط وجود پوشش گیاهی گرادیان سرعت شدیدتری به وجود می‌آید که نشان دهنده مقدار تنش‌های بزرگ است. بیشترین مقدار سرعت در پروفیل‌های واقع در محور مرکزی در محدوده عمق نسبی 0.32 تا 0.58 رخ می‌دهد. در حالت حضور پوشش گیاهی ناحیه با کمینه مقدار سرعت به سمت پایین دست حرکت کرده و در محل فرورفتگی تلماسه متمرکز شده است. در محدوده عمق نسبی 0.05 تا 0.1 نمودارهای بی‌بعد تنش تغییر جهت می‌دهند. بدین ترتیب که در ابتدا تا محدوده فوق افزایش یافته و پس از آن روند کاهشی دارند. بیشترین مقدار سرعت در پروفیل‌های واقع در محور مرکزی در محدوده عمق نسبی 0.32 تا 0.58 رخ می‌دهد. بر روی تلماسه‌های با تاج تیز بیشینه مقدار سرعت در زیر سطح آب و $z/h=0.52$ مشاهده شد که با نتایج این پژوهش تطابق نسبی دارد. محل رخداد ناحیه جدایی جریان در تلماسه‌های با تاج تیز و ناحیه کمینه مقدار سرعت در نوع تاج مسطح، هر دو در محل فرورفتگی تلماسه واقع شده‌اند، هر چند که در تلماسه‌های با تاج مسطح

شکل (۱۲) پروفیل‌های بدون بعد تنش رینولدزی در فواصل مختلف از دیوار در حالت وجود و عدم وجود پوشش گیاهی الف- قبل از تاج مسطح، ب- بر روی تاج مسطح و ج- بعد از تاج مسطح

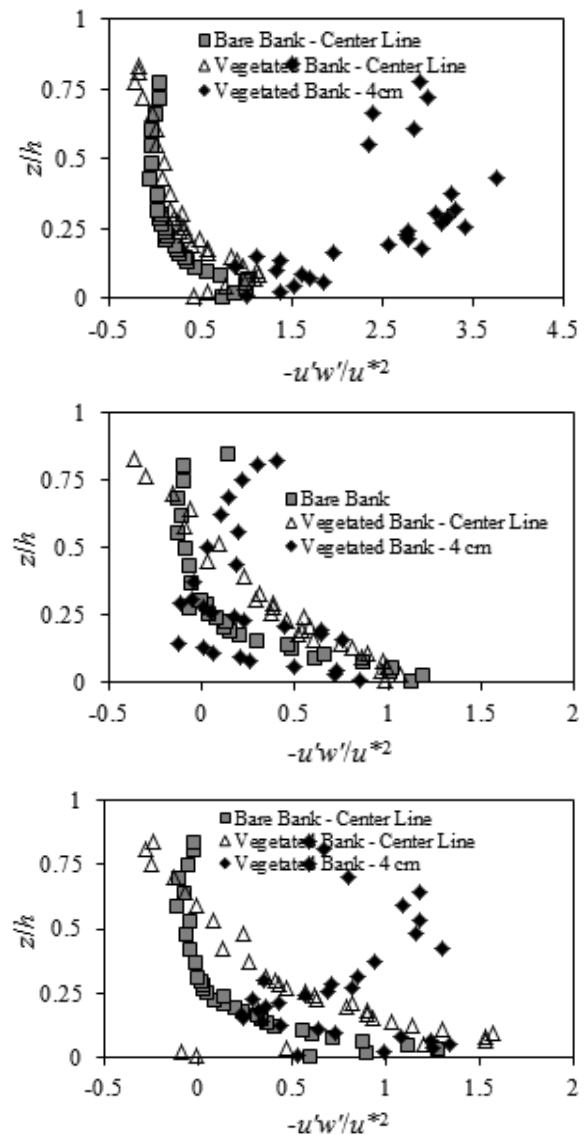


Figure 12. Non-dimensional longitudinal Reynolds stress profiles at different distances from the channel side-walls for bare and vegetated banks a) at stoss of the dunes b) over the flat crest and c) at lee of the dunes

بررسی نتایج در ارتباط با مؤلفه‌های دیگر تنش‌های رینولدزی نشان داد که $-\overline{u'v'}/u*2$ و $-\overline{v'w'}/u*2$ نقش مهمی در برقراری تعادل در معادله اندازه حرکت ایفا نمی‌کنند. مقادیر τ_{xy} در همه جا به جز لایه نزدیک به سطح آب منفی هستند. با نزدیک شدن به بستر مقادیر منفی تنش کاهش می‌یابند و کوچک‌ترین مقدار تنش در بستر برابر با $-0.7 Pa$ است. البته تنش‌های مثبت در نزدیکی سطح آب هم مقادیر بسیار

[7] Venditti, J. G. 2007. Turbulent flow and drag over fixed two- and three-dimensional dunes. *J. Geophys. Res.* 112, F04008.

[8] Stoesser, T. M., Braun, C., Garcia-Villalba, M. and W. M. Rodi. 2008. Turbulence structures in flow over two-dimensional dunes. *J. Hydraul. Eng., ASCE.* 134: 42-55.

[9] Mazumder, B. S., Pal, D., Ghoshal, K. and S. P. Ojha. 2009. Turbulence statistics of flow over isolated scalene and isoscalene triangular-shaped bedforms. *J. Hydraul. Res. Vol. 47, No. 5, PP.* 626-637.

[10] Afzalimehr, H., Dey, S. and P. Rasoulianfar. 2007. Influence of decelerating flow on incipient motion of gravel-bed streams, *Sadhana*, 32:545-559.

[۱۱] نصیری ده‌سرخي ا. ۱۳۸۸. برهم‌کنش پوشش گیاهی، شکل‌های بستر و ساختار جریان بر توزیع‌های سرعت و شدت‌های توربولانس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشگاه صنعتی اصفهان.

[12] Nasiri Dehsorkhi, N., Afzalimehr, H. and V. P. Singh. 2011. Effects of bedforms and vegetated banks on velocity distributions and turbulent flow structure. *J. Hydrol. Eng., ASCE.* 16. 495.

[13] Nasiri Dehsorkhi, N., Afzalimehr, H. and J. Sui. 2010. Effects of vegetation channel banks and gravel size on flow structure. *Int. J. Sed. Res. Vol. 25, No. 2, pp.* 110-118.

[14] Van Mierlo, M. C. L. M. and J. C. C. de Ruiter. 1988. Turbulence measurements above artificial dunes. Technical Report, TOW A55 Q789, PP. 142. Delft Hydraulics Laboratory, Delft, Netherlands.

[15] Bennett, S. J. and J. L. Best. 1995. Mean flow and turbulence structure over fixed, two-dimensional dunes: Implication for sediment transport and bed form stability. *Sedimentology*, Vol. 42, PP. 491-513.

[16] Fedele, J.J. and M.H. Garcia. 2001. Alluvial roughness in streams with dunes: A boundary-layer Approach. *River, Coastal and Estuarine Morphodynamics.* 37-59.

[17] Raudkivi, A. J. 2006. Transition from ripples to dunes. *J. Hydraul. Eng., ASCE*, Vol. 132: 1316-1320.

[18] Nepf, H. M. and E. W. Koch. 1999. Vertical secondary flows in submerged plant-like arrays. *Am. Soc. Limnol. Oceanogr.* 44: 1072-1080.

[19] Nepf, H. M. and E. R. Vivoni. 2000. Flow structure in depth-limited vegetated flow. *J. Geophys. Res.* 105: 28547-28557.

[20] Wilson, C. A. M. E., Stoesser, T., Bares, P. D. and A. Batemann Pinzen. 2003. Open channel flow through different forms of submerged flexible vegetation. *J. Hydraul. Eng. ASCE*, 129: 847-853.

[21] White, B. L. and H. N. Nepf. 2007. Shear instability and coherent structures in shallow flow adjacent to a porous layer. *J. Fluid Mech.* 593: 1-32.

[22] Afzalimehr, H. and S. Dey. 2009. Influence of bank vegetation and gravel bed on velocity and Reynolds stress distributions. *Int. J. Sediment Res.* 24: 2: 236-246.

[23] User guide of VECTRINO Velocimeter, October 2004. Nortek AS, Norway.

[24] Carling, P. A. 1996. Morphology, sedimentology and palaeohydraulic significance of large gravel dunes, Altai Mountains, Siberia. *Sedimentology.* 43: 4: 647-664.

حتی با وجود پوشش گیاهی در دیواره کانال، جدایی قابل توجهی به چشم نمی‌خورد.

روند تغییرات تنش برشی در تلماسه‌های با تاج تیز تدریجی بوده در حالی که در نوع مسطح این روند بسیار سریع صورت می‌گیرد. نیم‌رخ‌های تنش برشی در نوع اول نسبت به نوع دوم بسیار کشیده‌تر هستند. در تلماسه‌های با تاج مسطح نسبت به نوع تیز، بیشینه مقدار تنش‌های برشی در فاصله نزدیک‌تری به بستر اتفاق می‌افتد. محل رخداد مقادیر بیشینه تنش در تلماسه‌های با تاج مسطح در محدوده ناحیه کمینه مقدار سرعت و پایین‌دست آن بوده که با تحقیقات گذشته تطابق نسبی دارد. به طور کلی در پروفیل‌های واقع در مرکز کانال برای عمق‌های نسبی کمتر از $0/6$ تنش رینولدز در حالت وجود پوشش گیاهی در دیوار نسبت به حالت عدم وجود آن بیشتر است. در عمق‌های کمتر از $0/1$ با کاهش عمق نسبی در هر دو حالت تنش رینولدز کاهش می‌یابد. در حالت عدم وجود پوشش گیاهی از عمق نسبی $0/1$ تا مقادیر کوچک‌تر از $0/3$ با کاهش عمق نسبی، تنش رینولدز افزایش می‌یابد ولی در عمق‌های نسبی بزرگ‌تر از $0/3$ رابطه عکس برقرار است. در حالت وجود پوشش گیاهی در دیوار در عمق‌های نسبی بزرگ‌تر از $0/1$ در تمامی پروفیل‌ها با کاهش عمق نسبی، تنش رینولدز افزایش می‌یابد.

References

۵ - مراجع

- [1] Best, J. L. 1993. On the interaction between turbulent flow structure, sediment transport and bedform development: some considerations from recent experimental research. In: N. J. Clifford, J. R. French, and J. Hardisty (Eds.), *Turbulence: Perspectives on Flow and Sediment Transport*, John Wiley & Sons Ltd., New York, 360pp.
- [2] Afzalimehr, H., Singh, V. P. and E. Fazel Najafabadi. 2010. Determination of form friction factor. *J. Hydraul. Eng., ASCE.* 15: 3: 237-243.
- [3] McLean, S. R., Nelson, J. M. and S. R. Wolfe. 1994. Turbulence structure over two-dimensional bed forms: Implication for sediment transport. *J. Geophys. Res.* 99: 12, 729-12, 747.
- [4] Gomez, B. 1991. Bedload transport. *Earth Sci. Rev.* 31: 89-32.
- [5] Bartholdy, J., Bartholoma, A., Ernstsens, V. B. and B.W. Flemming. 2005. Flow and grain size control of depth-independent simple subaqueous dunes. *J. Geophys. Res.* 110: F4: F04S16.
- [6] Venditti, J.G., Church, M. and S.J. Bennett. 2006. On interfacial instability as a cause of transverse subcritical bed forms. *Water Resour. Res.* 42: 7: W07423.

Effects of straight-crested gravel bed-forms and vegetated banks on turbulent flow characteristics

S. Davarpanah-Jazi¹, A.R. Kabiri-Samani², H. Afzalimehr³

1- MSc. Student, Department of Agricultural Engineering, Isfahan University of Technology

2- Associate Prof., Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology

3- Prof., Department of Agricultural Engineering, Isfahan University of Technology

akabiri@cc.iut.ac.ir

Abstract

Rivers have been always the main source of water for human kind and the basic element of population development. The interaction between river flow structure and the bed-forms is common problem in river engineering that should be considered to better recognition of behavior of the river flows. Moreover, vegetation in natural rivers increases roughness of the main channel and flood plains which affects the geometry of channels, flow structure, bed resistance and consequently the pattern of sediment transport. In general, bed-forms and vegetation significantly influence flow characteristics, thereby result in non-uniformity in flow; variation of the turbulence intensity, increasing the near-wall shear stresses, and modified velocity distributions. To date, limited works on the impacts of the bed-forms and the vegetated banks on flow characteristics has been reported. Considering the role of bed-forms on sediment transport, turbulence production and flow resistance, investigations on details of flow-bed-forms interaction, vegetated banks and flow structure seem to be essential.

In this study, the influence of straight crested gravel bed-forms and vegetation of the banks of channels on flow turbulent characteristics are investigated based on model experimentation. For this purpose, seven fixed artificial 2-D straight crested bed-forms were built inside a rectangular flume 8 m long, 0.4 m wide and 0.6 m deep. The graded gravel particles used to create the bed-forms had an average diameter of $d_{50} = 10$ mm. Johnson grasses with a diameter of 2.8 mm were used to simulate vegetation cover attached to the channel side-walls. Since, the fully developed flow was just observed after the fifth dune, experimental measurements were performed over the fifth and sixth dunes. Overall, three runs were performed over the dunes with a wave length, height, angle of repose and flow depth of 0.96 m, 0.04 m, 28 degrees and 0.28 m, respectively. In the first case 17 velocity profiles and in the second and the third cases 21 velocity profiles were measured. All the tests were performed with a constant discharge of $0.024 \text{ m}^3/\text{s}$. The instantaneous three-dimensional velocity components were measured using a down-looking Acoustic Doppler Velocimeter ADV. Velocities were recorded point by point with a sampling rate of 200 Hz and the sampling volume of 5 mm. The sampling duration was at least 120 seconds. Overall, about 45400000 velocity data were collected, filtered by WinADV software. Results indicated no negative velocities for both bare and vegetated banks. For no vegetation case (bare bank), the least value of velocity was zero at a small region on the lee side of the dune. Whereas, for the case of vegetating the side-walls, the zero value of velocity was located at the dune's stoss. Negative vertical velocity value in both cases of with and without vegetation along a dune confirmed that separation is not dominant for the case of straight crested dunes compared to the corresponding sharp-crested bed-forms. The Reynolds stresses increase for the case of vegetating the side-walls compared to the case of without vegetation cover. This is in part due to the increase of flow resistance, while the side-walls are vegetated.

Keywords: Gravel bed-form, Vegetated wall, Reynolds stress, Turbulent flow.