

سرعت جریان و تنش برشی رینولذی بر روی تاج بند توری سنگی سرریز شونده

حمید رضا شبانی* و حبیب الله بیات**

دانشکده مهندسی، دانشگاه پیام نور تهران

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه امیرکبیر

(دریافت مقاله: ۱۳/۹/۸۴ - دریافت نسخه نهایی: ۱۷/۷/۸۵)

چکیده - در این تحقیق، آزمایش‌های مدل فیزیکی برای بررسی چگونگی توزیع سرعت جریان و تنشهای برشی رینولذی بر روی بند توری سنگی سرریز شونده انجام شده‌اند. آزمایشها برای دو حالت مختلف نفوذپذیر بودن و نفوذناپذیر بودن سطح تاج بند صورت گرفته است. با کمک ابزار ای.دی.وی^۱ (سرعت سنج با مکانیزم اندازه‌گیری استفاده از صوت) که قادر به برداشت مولفه‌ی سرعت لحظه‌ای با فرکانس تا ۲۵ هرتز است، مقادیر مولفه‌های سرعت جریان و نیز تنشهای برشی در سطح تاج اندازه‌گیری شده‌اند. مقایسه نتایج به دست آمده از این تحقیق، تاثیر نفوذپذیری سطح تاج را در توزیع سرعت و تنش برشی رینولذ نشان داده است. در حالت نفوذپذیر بودن سطح تاج، دیده می‌شود که تنشهای برشی رینولذ، مولفه‌ی افقی سرعت و قدر مطلق مولفه‌ی قائم مقادیر بیشتری نسبت به حالت نفوذناپذیر بودن را دارا هستند. توزیع سرعت بر روی تاج بند توری سنگی سرریز شونده توزیعی لگاریتمی اما متفاوت با توزیع لگاریتمی مرسوم است.

واژگان کلیدی : محیط متخلف، بند توری سنگی، بستر نفوذ پذیر، توزیع سرعت، تنش برشی رینولذ، کنترل سیلاب، رسوب ای.دی.وی

Velocity Profile and Reynolds Shear Stress in Overflow Gabion Dam Crest

H. R. Sheibani and H. Bayyat

Engineering Department, Tehran Payam-e-noor University
Civil Engineering Department, Amirkair University

Abstract: A physical model of gabion overflow dams was studied to determine the velocity profile and Reynolds shear stress. Physical tests were done under two different conditions of dam crest, overflow dams with impermeable and with permeable crests. Instantaneous velocity components over dam crest were measured by an ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) instrument. This

** - دانشیار

* - استادیار

instrument is capable of measuring instantaneous velocity components with frequencies up to 25 Hz. Average velocity components and bed shear stress were extracted from ADV measurements. The results of this research show the effect of crest permeability on velocity and Reynolds shear stress. The magnitude of Reynolds shear stresses, horizontal velocity components, and absolute value of vertical velocity components under the permeable scenario are bigger than those of the impermeable scenario. Velocity distribution over the dam crest is different from the universal logarithmic profile.

Keywords: porous media – gabion dam – permeable bed – velocity profile – Reynolds shear stress – flood control – sediment – ADV

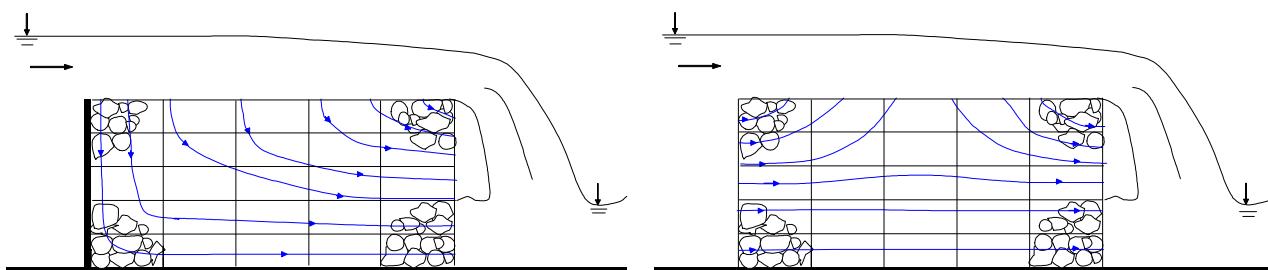
فهرست علائم

مقدار ثابت	A
نماینده قطر دانه‌های مصالح	D ₅₀
شتاب ثقل	g
عمق آب در کanal	h
زبری بستر	k _s
مؤلفه افقی سرعت لحظه‌ای	u
سرعت لغزش	u _s
سرعت برشی	u*
تنش برشی رینولدز در کف	$\overline{u'v'_b}$
تنش برشی رینولدز	$\overline{u'v'}$
مؤلفه افقی سرعت متوسط زمانی	\overline{u}
سرعت نرمالایز شده مؤلفه افقی	U ⁺

۱- مقدمه

کلن [۱] در مطالعه خود بر روی جریان گذری از روی بند توری سنگی مشاهده کرد که برای تطابق نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی، لازم است زیری سطح تاج را خیلی بیش از آنچه بزرگی دانه‌ها دیکته می‌کنند اتخاذ کند علت این امر برای وی ناشناخته ماند اما به واقع علت، افزایش تنش برشی در سطح تاج به سبب وجود نفوذ جریان در آن است. بزرگی تنش برشی نسبت مستقیم با میزان نفوذ به داخل سطح تاج دارد. در شرایطی که مخزن پر از رسوب است و جریان در کل طول تاج به درون محیط متخلخل بند نفوذ می‌کند افزایش تنش برشی ناشی از نفوذ، نسبت به زمانی که مخزن خالی از رسوب است بیشتر خواهد بود. در حالتی که مخزن بند از رسوبات انباسته نشده است جریان از نمای بالادست بند وارد می‌شود و در سطح تاج، در ناحیه ابتدایی آن خروج جریان از سطح و در

بندهای توری سنگی که عمدتاً به صورت سرریز شونده ساخته می‌شوند در طرحهای آبخیزداری جایگاه خاصی دارند. آنها به منظور کنترل فرسایش، تله اندازی رسوب و کاهش پیک سیلان در مسیر رودخانه و آبراهه‌ها احداث می‌شود. یک بند توری سنگی با هر هدفی که ساخته شود بعد از مدت زمانی مخزن آن انباسته از رسوب می‌شود و جریان آبراهه یا مخزن بالادست آن عمدتاً از روی تاج بند سرریز می‌کند. هر چه رسوبات انباسته شده در مخزن ریزدانه‌تر باشند نفوذ جریان از نمای بالادست بند کمتر خواهد بود و نفوذ جریان به داخل بدنه‌ی متخلخل بند تنها از سطح تاج نفوذپذیر بند صورت می‌گیرد. نفوذ سیال به داخل سطح تاج، شرایط هیدرولیکی خاصی را برای جریان گذری از روی بند به وجود می‌آورد



ب) مخزن اپاشته از رسوبات ریزدانه [۲]

الف) مخزن خالی از رسوب [۱].

شکل ۱ - نمایش خطوط جریان در بدنه متخلخل بند توری سنگی

افزایش می‌یابد. این محقق در آزمایش‌های فیزیکی خود مشاهده کرد که با افزایش میزان دبی مکش در کف، تنفس برشی در کف نیز افزوده می‌شود. این افزایش تنفس می‌تواند سرعت و شدت فرسایش و تشکیل حفره‌هایی را در آبگیرهای موجود در کف موجب شود. چیو و چن [۵] تحقیق خود را معطوف به ارزیابی تنفس برشی موجود در کف کanal نفوذپذیر کردند. معادله تحلیلی برای تعیین تنفس برشی کف به دست آمده و برای تایید آن آزمایش‌های فیزیکی نیز انجام گرفته است. با انتگرالگیری از معادلات اندازه حرکت و پیوستگی و انجام عملیات ریاضی، این دو محقق معادله‌ای را برای تعیین تنفس برشی در کف استخراج کردند.

$$\tau_b = -\rho g h \frac{dh}{dx} \left(1 - \frac{\beta U^2}{gh} + \frac{u_s^2}{gh}\right) - \rho v_s (2\beta U - u_s) \quad (2)$$

با کمک دستگاه اندازه‌گیری سرعت ای.دی.وی، مؤلفه‌های سرعت لحظه‌ای در فضای دو بعدی اندازه‌گیری شده است. توزیع سرعت به دست آمده در عمق ضمن اینکه نشان می‌دهد سرعت در کف صفر نیست نیز گرادیان کمتری برای تغییرات سرعت در عمق را ارائه می‌دهد. به عبارت دیگر با وجود نفوذ جریان در کف، توزیع سرعت حالت یکنواخت‌تری را دارد. نفوذ جریان در کف، تنفس برشی رینولدز \bar{U}/\bar{u} را نیز افزایش می‌دهد. ارزیابی افزایش تنفس برشی در بررسی حرکت رسوب یا امکان ایجاد فرسایش و تخریب در کف از اهمیت خاصی برخوردار است. چن و چیو [۶] تحقیق خود را روی توزیع سرعت برای جریان گذری از کف کanal نفوذپذیر معطوف

ناحیه انتهایی ورود جریان به داخل سطح وجود دارد. شکل (۱) به طور شماتیک این دو حالت را نشان می‌دهد.

گوتا و پاویدل [۳] جریان در کanal با سطح آزاد و کف متخلخل نفوذپذیر را مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار دادند. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که توزیعی لگاریتمی برای سرعت صادق است مشروط برآنکه به جای کف کanal، مینا سطحی در فاصله‌ی δz در زیرکف کanal فرض شود و نیز ضریب ون کارمن از مقدار $0/4$ ، که برای جریان بر روی سطوح نفوذ ناپذیر صادق است، به مقداری برابر $0/28$ برای کanal با کف نفوذپذیر تغییر پیدا کند. معادله زیر برای توزیع سرعت پیشنهاد شده است.

$$\bar{u} = \frac{1}{\kappa} \ln\left(\frac{y + \delta z}{k_s}\right) + A \quad (1)$$

κ ضریب ون کارمن و برابر $0/28$ ، k_s زیری بستر و مقدار آن برابر D_{50} ، و A ثابت معادله و مقدار آن برابر $0/21$ است. در تعیین δz دیده شده است که از برابری این مقدار با یک سوم اندازه‌ی D_{50} نتایج درستی برای توزیع سرعت به دست می‌آید. معادله (۱) نشان می‌دهد زمانی که در کف کanal مکش وجود دارد، شرط عدم لغزش^۲ در کف مهیا نمی‌شود و سرعت در کف صفر نیست. مک لین [۴] تحقیقی آزمایشگاهی درباره چگونگی توزیع سرعت در کanalی که در محدوده‌ای از کف آن آبگیری می‌شود انجام داد. وی مشاهده کرد که در مسیر جریان به محض رسیدن به محدوده آبگیری، توزیع سرعت از پروفیل لگاریتمی مرسوم فاصله می‌گیرد و با پیشرفت بیشتر در این محدوده این فاصله نیز



شکل ۲ - مدل آزمایشگاهی بند توری سنگی با نمای آببند در بالادست

انتهای کanal، کتربل و تغییر سطح آب در پایین دست سازه را بر عهده دارد. دو پمپ با ظرفیت هر کدام حدود ۵۰ لیتر در ثانیه دنی کanal را تامین می‌کنند. مخزن آرام کننده‌ای در مسیر بین پمپها و کanal قرار گرفته است و جریان ورودی را به کanal آرام می‌کند. بعد از فلوم و قبل از رسیدن به سرریز اندازه‌گیری جریان، حوضچه‌ای اختشاش جریان را مستهلك می‌کند و جریان ملایمی را برای اندازه‌گیری به سرریز می‌رساند. جریان خروجی از سیستم در یک سیکل بسته توسط پمپها به کanal باز گردانده می‌شود. توسط دستگاه ای.دی.وی مؤلفه‌های لحظه‌ای سرعت اندازه‌گیری شدن. اطلاعات دریافتی از سنسور دستگاه به پردازش کننده‌ای در رایانه منتقل می‌شود و مؤلفه‌های لحظه‌ای سرعت در فایلی مشخص ثبت می‌شوند. امکان برداشت سرعت با فرکانس تا ۲۵ هرتز از قابلیتهای این دستگاه است. ارائه نگهدارنده دستگاه ای.دی.وی قابلیت حرکت در سه جهت طول، عرض و عمق کanal را موجب می‌شود. برای اندازه‌گیری سرعت در مجاورت مرزها باید حداقل فاصله‌ای بین حجم نمونه برداری^۳ و مرز کف یا دیواره وجود داشته باشد این فاصله حداقل برابر ۶ میلیمتر عنوان می‌شود (راهنمای استفاده از ای.دی.وی - شرکت نورتک ۲۰۰۰) [۷]. لازم به ذکر است که چنانچه بستر متخلخل با مصالحی درشت دانه، مرز را

داشته‌اند. آنها نیز ضمن تایید یافته‌های پیشین، توزیع زیر را برای سرعت پیشنهاد کردند.

$$\frac{\bar{u} - u_s}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{y + \delta z}{\delta z} + \frac{v_s}{4u_*} \left(\frac{1}{\kappa} \ln \frac{y + \delta z}{\delta z} \right)^2 \quad (3)$$

در بررسی شرایط هیدرولیکی جریانهای گذری از روی محیط‌های متخلخل تحت نفوذ، مطالعات آزمایشگاهی و ریاضی صورت گرفته است، ولی مدرکی در مطالعه مستقیم بر روی شرایط آشفتگی جریان گذری از روی بند توری سنگی مشاهده نمی‌شود.

۲ - تجهیزات آزمایشگاهی

بند توری سنگی با ارتفاع ۳۰، عرض ۵۲ و طول ۴۲ سانتیمتر بصورت بسته‌هایی به بزرگی $21 \times 10 \times 10$ سانتیمتر، از توری‌های گالوانیزه با چشممه‌های مربع شکل به ابعاد 0.6×0.6 سانتیمتر ساخته شده است و با مصالح گرد گوش، با قطر متوسط (d_{50}) برابر ۱۸ میلیمتر و تخلخل (n) معادل $33/0$ پر شده‌اند. شکل (۲) مدل آزمایشگاهی بند را نمایش می‌دهد. بند در فلوم آزمایشگاهی با عرض ۵۲ سانتیمتر، عمق ۷۵ سانتیمتر و طول ۶ متر قرارداده شده است. کف کanal از جنس فولاد و جداره آن از شیشه است. استقرار دریچه‌ای در



شکل ۳ - شکل سمت چپ تاج نفوذپذیر و سمت راست تاج نفوذ ناپذیر

سرعتهای متوسط زمانی و تنش برشی رینولدز در مقطع را به دست می‌دهد، شکل (۵) مقادیر را نشان می‌دهد.

تشکیل داده باشد این حداقل فاصله افزایش می‌یابد. در آزمایشهای انجام شده در این تحقیق، این حداقل فاصله برابر ۲/۵ سانتیمتر از سطح تاج بند گزارش می‌شود.

۴ - تنشهای برشی رینولدز

توزيع سرعت برای جریان بر روی سطوح نفوذناپذیر که به لحاظ هیدرولیکی صاف‌اند از توزیع لگاریتمی مطابق معادله (۷) تعیت می‌کند. برای جریان توسعه یافته مقادیر ثابت‌های κ و A به ترتیب برابر $۴۱/۰$ و $۵/۵$ هستند.

$$U^+ = \frac{1}{\kappa} \ln Y^+ + A \quad (7)$$

$$U^+ = \frac{\bar{u}}{u_*}, \quad Y^+ = \frac{yu_*}{v}$$

$$\bar{u} = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{y}{v} + \frac{u_*}{\kappa} \ln u_* + u_* A = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{y}{v} + B \quad (8)$$

در شرایط تاج با بستر نفوذناپذیر، با رسم منحنی مقادیر آزمایشگاهی \bar{u} در برابر $\frac{y}{v}$ ، شکل (۶)، مقادیر u_* و A در معادله توزیع سرعت به ترتیب زیر استخراج می‌شوند.

$$\kappa = ۴۱/۰$$

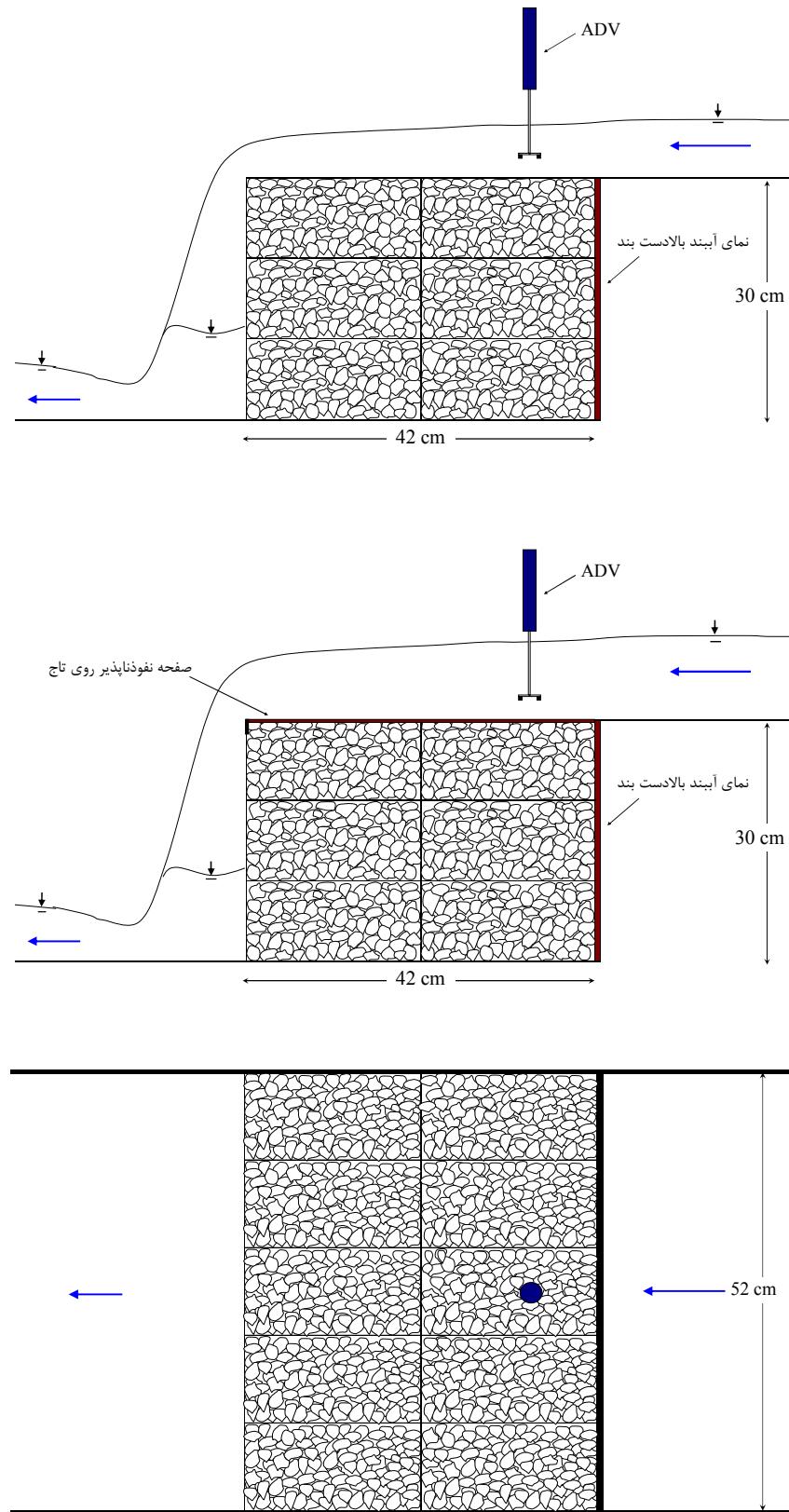
$$\frac{u_*}{\kappa} = ۷/۲۷۵ \quad \tau_b = \rho u_*^2 = ۸۸/۰ \text{ نس } \frac{N}{m^2}$$

$$u_* = ۹۸/۲ \text{ cm/s}$$

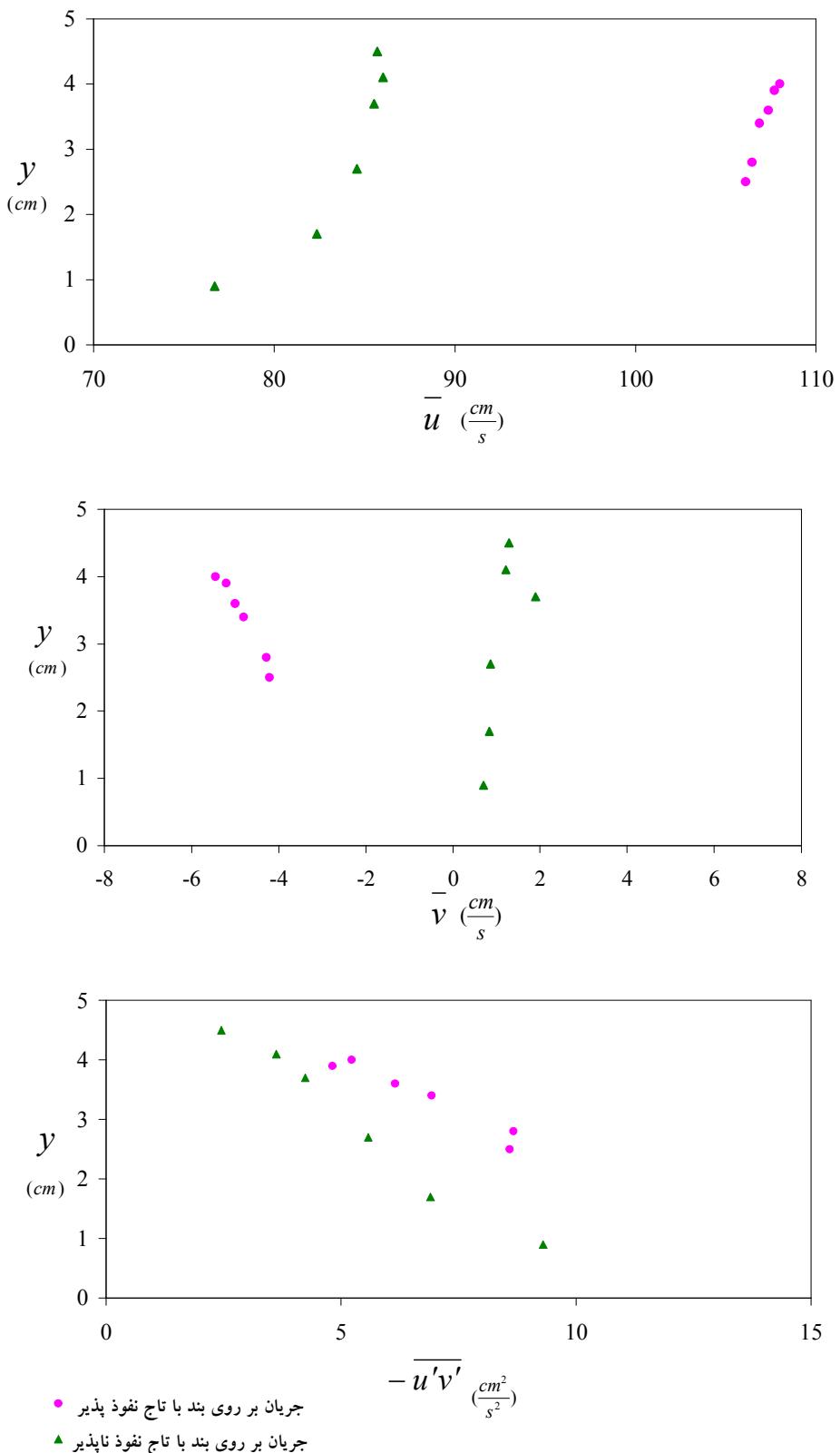
$$B = \frac{u_*}{\kappa} \ln u_* + u_* A = ۴۴/۲۷۴ \quad A = ۱۸/۱۲ \text{ : پس}$$

۳ - شرح آزمایشها

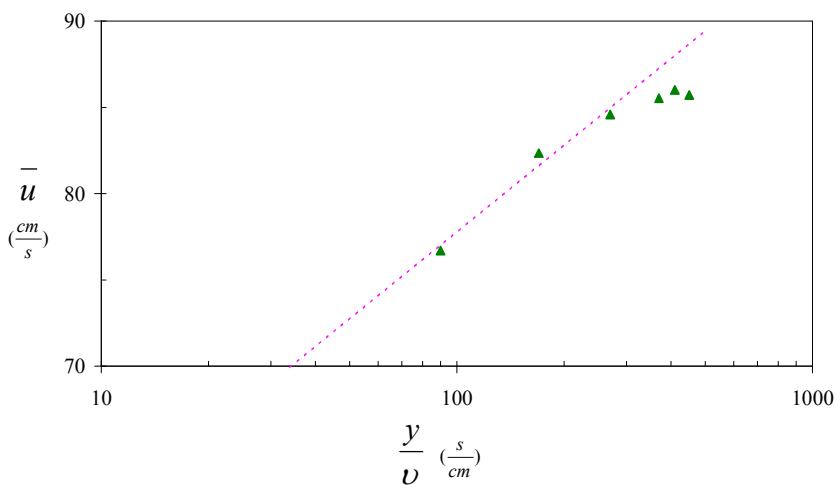
مقطع آزمایش به فاصله ۷ سانتیمتر از ابتدای بند و برای اندازه‌گیری سرعت و تنش برشی در نظر گرفته شده است. دبی جریان برابر $۱۵/۳۹$ لیتر در ثانیه انتخاب شده است. زمان اندازه‌گیری سرعت لحظه‌ای به دفعات مختلف برابر ۳۰۰ ، ۶۰۰ ، ۹۰۰ ، ۱۸۰۰ ، ۲۷۰۰ ، ۳۶۰۰ و ۴۲۰۰ ثانیه انتخاب شده و ملاحظه شده است با انتخاب زمانهای بیش از ۹۰۰ ثانیه تغییری در مقادیر متوسط حاصل شده برای متغیرها داده نمی‌شود. بنابراین، این زمان به عنوان زمان کافی برای دوره اندازه‌گیری سرعت لحظه‌ای تعیین شد. آزمایشها در دو حالت مختلف بند با تاج نفوذ ناپذیر و بند با تاج نفوذ پذیر صورت گرفت تا بتوان تاثیر نفوذ جریان در تاج بند را بر روی متغیرهای حاصله معلوم کرد. در شکل (۳) تصویر بند توری سنگی و در شکل (۴) تصویر شماتیک آن در دو حالت مختلف نمایش داده شده است. ارتفاع جریان در مقطع مورد اندازه‌گیری، در حالت اول $۸/۶۵$ و در حالت دوم $۹/۶$ سانتیمتر گزارش می‌شود. تحلیل نتایج خام آزمایشگاهی (سرعتهای لحظه‌ای)، پارامترهای



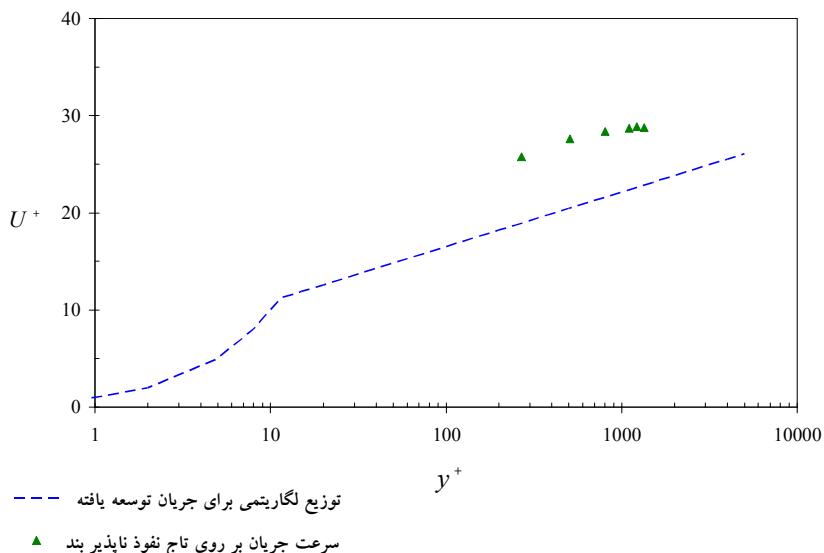
شکل ۴ - شکلها به ترتیب بالا مقطع طولی بند با تاج نفوذناپذیر، وسط مقطع طولی بند با تاج نفوذناپذیر و پایین پلان بند با تاج نفوذناپذیر



شکل ۵ - مولفه‌های افقی و عمودی سرعت متوسط و تنش برشی رینولدز بر روی تاج بند



شکل ۶ - توزیع سرعت جریان روی بند و با سطح تاج نفوذناپذیر

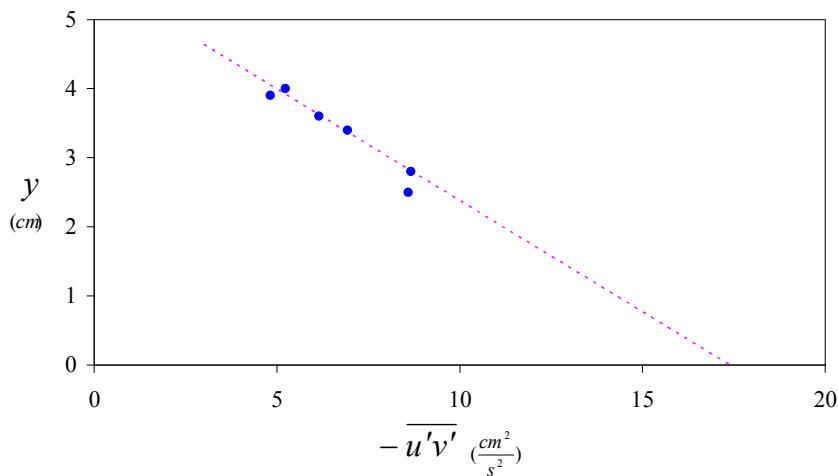


شکل ۷ - مقایسه مقادیر سرعتهای آزمایشگاهی بر روی تاج، با توزیع لگاریتمی مرسوم

متفاوت با توزیع لگاریتمی مرسوم است، گوپتا و پاویدل [۳]. معادله (۱) نمونه‌ای از این توزیع است. اندازه‌گیریهای آزمایشگاهی در تحقیقات قبلی، همان‌طور که پیشتر نیز اشاره شد، نشان داده‌اند که ضریب ون کارمن برای جریان گذری از روی محیط متخلخل تحت نفوذ لزوماً برابر $41/40$ نیست. لذا، تعداد مجھولات موجود در معادله لگاریتمی سرعت بر روی محیط متخلخل، یعنی k و A و u^* و متخلخل از دو مجھول به سه مجھول افزایش پیدا کرده است و

با مقایسه سرعتهای آزمایشگاهی با توزیع لگاریتمی مرسوم سرعت، دیده می‌شود که مقادیر سرعت بر روی بند با تاج نفوذناپذیر، مقادیر بیشتری از آنچه توزیع لگاریتمی ارائه می‌کند به دست می‌دهند. این مقایسه در شکل (۷) نمایش داده شده است.

برای بررسی شرایط جریان روی بند با سطح تاج نفوذ پذیر، یاداور می‌شود که مطالعات قبلی نشان داده‌اند که توزیع سرعت بر روی محیط متخلخل تحت نفوذ، توزیعی لگاریتمی اما



شکل ۸ - توزیع تنش برشی رینولدز روی بند و با سطح تاج نفوذپذیر

مقایسه مقادیر تنشهای برشی رینولدز و نیز تنش برشی در کف برای دو حالت بستر با تاج نفوذپذیر و تاج نفوذناپذیر نشان می‌دهد که نفوذ جریان به داخل بدنه متخلخل بند توری سنگی سبب افزایش تنشهای می‌شود. احتمال دارد در نظر اول این شبهه پیش آید که دو بستر به لحاظ زبری با یکدیگر متفاوت‌اند و عامل افزایش تنش برشی بر روی بستر سنگانه‌ای، می‌تواند افزایش زبری بستر باشد. برای رفع این شبهه، یاداور می‌شود که شبیانی [۲] در بررسی جریان گذری از درون محیط متخلخل بند توری سنگی، با کمک یافته‌های آزمایشگاهی نیز نشان داد که با وجود نفوذ در کف، مقدار تنش برشی بر روی بستر افزوده می‌شود این دریافت منجر به اصلاح معادله جریان متغیر مکانی برای جریان گذری از روی بستر متخلخل نیز شد. چنانچه شرایط آزمایشگاهی اجازه می‌داد تا برداشت سرعتهای لحظه‌ای در فواصل بیشتری از شروع تاج بند صورت گیرد ممکن‌لا اختلاف بیشتری بین تنشهای برشی در دو حالت وجود و عدم وجود نفوذ به چشم می‌خورد.

۵ - توزیع سرعت روی بند و با کف تاج نفوذپذیر

نفوذ جریان در کف تاج بند توری سنگی شرایط جدیدی برای پروفیل سرعت جریان به وجود می‌آورد. برای ملاحظه این شرایط جدید، مقایسه‌ای بین سرعتهای آزمایشگاهی با توزیع

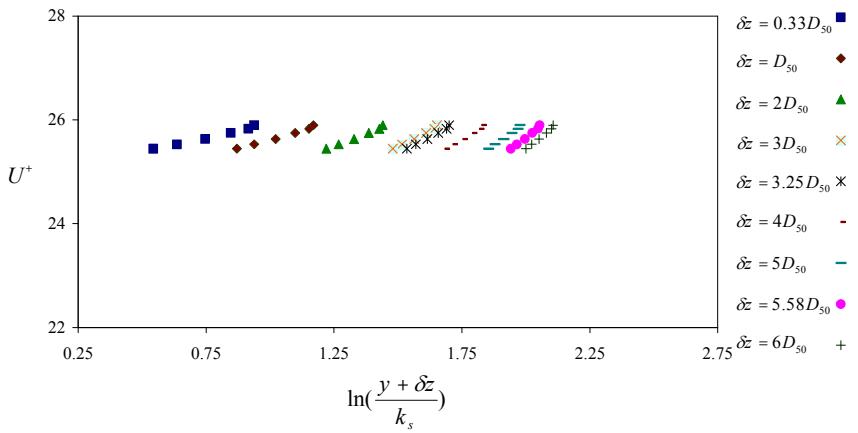
نمی‌توان به ترتیبی که برای شرایط تاج با سطح نفوذناپذیر عمل کرد برای شرایط با نفوذ پذیری تاج، مقدار تنش برشی بر روی کف را به دست آورد.

چنگ و چیو [۸]، و چیو و چن [۵] در مطالعه خود بر روی جریان گذری از روی محیط‌های متخلخل تحت نفوذ، مقدار سرعت برشی را بدین ترتیب به دست آورده‌اند که ابتدا با برونيابی از مقادیر تنش برشی رینولدز در عمق، مقدار این تنش را بر روی مرز برآورد کرده‌اند و سپس از این مقدار، تنش برشی بر روی کف و در نتیجه سرعت برشی را نیز تعیین کرده‌اند. آن محققان اشاره دارند که مناسب است برونيابی با استفاده از نقاط نزدیک به مرز صورت گیرد. ابزار آزمایشگاهی موجود در این تحقیق شرایط برداشت در فاصله نزدیک به محیط متخلخل را فراهم نکرد، از این رو به ناچار از نزدیک‌ترین نقاط برداشت شده نزدیک به مرز، برای برونيابی استفاده شد. در شکل (۸) از معقول‌ترین سه نقطه نزدیک به مرز، خطی برآش داده شده است. این خط، تنش برشی رینولدز و سرعت برشی بر روی کف را به دست می‌دهد.

$$-\bar{uv}_b = -\bar{uv}_{y=0} = 17/40 \quad \frac{\text{cm}^2}{\text{s}^2}$$

$$\tau_b = -\rho \bar{uv} = 1/74 \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} = 4/17 \quad \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$



شکل ۹ - منحنی مقادیر نرمالایز شده سرعت بر روی تاج بند نفوذپذیر به ازای δz های متفاوت

جدول ۱ - مقادیر ثابت‌های κ ، A در معادله توزیع سرعت لگاریتمی بر روی محیط متخلخل،

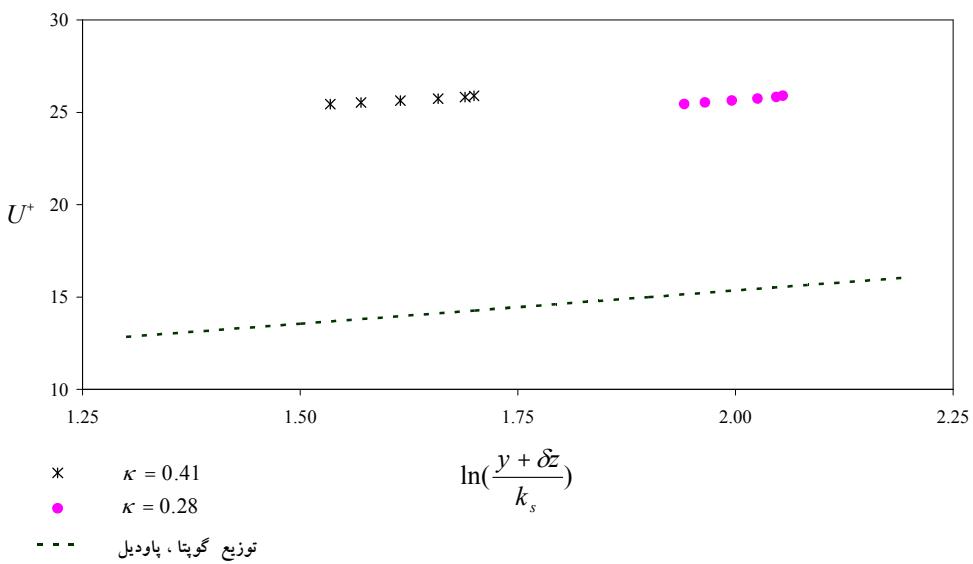
به ازای δz های مختلف، $D_{50} = 1/8 \text{ cm}$

δz	κ	A
$0.33 D_{50}$	0.98	$24/88$
D_{50}	0.74	$24/27$
$2 D_{50}$	0.55	$23/20$
$3 D_{50}$	0.43	$22/01$
$3.25 D_{50}$	0.41	$21/70$
$4 D_{50}$	0.36	$20/72$
$5 D_{50}$	0.30	$19/34$
$5.58 D_{50}$	0.28	$18/01$
$6 D_{50}$	0.27	$17/89$

نحوی است که مؤلفه‌های افقی جریان مقادیر قابل توجهی را در درون بدن متخخلخل بند به خود اختصاص می‌دهند و این مؤلفه‌های افقی در تمامی عمق وجود دارند. از این رو این اعتقاد وجود دارد که برای تحقیق حاضر، فاصله کف تا سطح مبنای δz ، مقادیر بیشتری از آنچه این محققان در تحقیق خود به دست آورده‌اند را دارد. به‌حال به ازای δz های متفاوت، منحنی $\ln(\frac{y + \delta z}{k_s})$ در با توجه به معادله (۱)، نیز با توزیع سرعت جریان بر روی سطوح زیر معادله (۹)، انجام گرفته است.

$$U^+ = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{y}{k_s} + 8.5 \quad (9)$$

با توجه به معادله (۱)، منحنی U^+ در برابر $\ln(\frac{y + \delta z}{k_s})$ رسم می‌شود و چنانچه منحنی که به دست می‌آید یک خط باشد، توزیع واقعی سرعت یک توزیع لگاریتمی است و از شبیه و عرض از مبدأ خط به دست آمده می‌توان ضرایب معادله را برای انطباق با واقعیت حاصل کرد. جریان بر روی و درون بند توری سنگی به



شکل ۱۰ - مقایسه سرعتهای نرمالایز شده آزمایشگاهی با آنچه معادله گوپتا، پاودیل [۳] به دست می‌دهد

جريان بر روی بستر متخلخل داراست [۲].

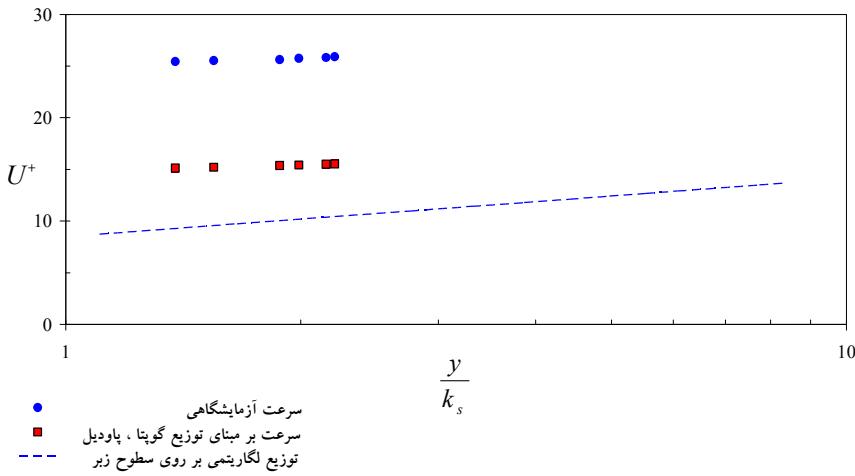
مقایسه دیگری بین سرعتهای نرمالایز شده آزمایشگاهی با آنچه توزیع لگاریتمی جريان بر روی سطوح زبر پیش‌بینی می‌کند انجام شده است. با استفاده از معادله (۹) مقایسه مذکور در شکل (۱۱) آورده شده است. دیده می‌شود که سرعتهای نرمالایز شده آزمایشگاهی و نیز سرعتهایی که معادله گوپتا، پاودیل [۳] برای جريان روی بند ارائه می‌دهند هر دو بیش از سرعتهای است که معادله لگاریتمی بر روی سطح زبر به دست می‌دهد و این تاثیر نفوذ جريان در بستر متخلخل را بر روی مقادیر سرعت جريان گذری از روی محیط نشان می‌دهد.

به صراحت مذکور می‌شود که مقادیر ثابت‌های به دست آمده در جدول (۱)، برای شرایط فيزيکي و هييدروليكي تحقيق حاضر است و نمی‌توان از آنها به عنوان ثابت‌های معادله توزیع سرعت بر روی محیط متخلخل بند توری سنگی سرريز شونده ياد کرد. چه اينکه در اين مطالعه اين هدف نيز مورد نظر نبوده است. هدف تحقيق عمده مقاييسه تنشهای برشی رينوليز و نيز توزيع سرعت در دو شرایط مختلف فيزيکي از سطح تاج بند توری سنگی سرريز شونده بوده است. يكى شرایط معمول تاج بند که امكان نفوذ جريان در سطح تاج وجود دارد و دیگرى

آزمایش و مشخصات فيزيکي مصالح معلوم‌اند.

$$u_* = \frac{4}{17} \text{ cm/s}, \quad D_{50} = 1/8 \text{ cm}, \quad k_s = 1/8 \text{ cm}$$

منحنی (۹) نشان می‌دهد که پروفیل سرعت بر روی محیط متخلخل بند از توزیع نسبتاً یکنواختی برخوردار است. توزیع حاصله به ازای $\delta z = 3/25 D$ مقدار κ را برابر $41/40$ ، یعنی مقدار رایج آن را به دست می‌دهد و به ازای $\delta z = 5/58 D$ مقدار κ برابر $28/20$ ، یعنی مقداری که گوپتا، پاودیل [۳] از آزمایش‌های خود به دست آورده‌اند، حاصل می‌شود. شکل (۱۰) مقایسه بین سرعتهای نرمالایز شده آزمایشگاهی با κ ‌های فوق الذکر را نسبت به توزیع سرعت گوپتا، پاودیل [۳] نشان می‌دهد. شرایط هييدروليكي جريان در درون بدن متخلخل بند توری سنگی و تفاوت آن با شرایط هييدروليكي جريان در کanal با بستر متخلخل، علت عمدۀ در بروز تفاوت بین سرعتهای نرمالایز شده آزمایشگاهی و سرعتهایی است که معادله اين دو محقق پيش‌بیني می‌کند. مولفه‌های افقی سرعت جريان در بدن متخلخل بند توری سنگی سبب می‌شوند تا سرعت جريان در سطوح زيرین جريان روگذر از بند افزوده شده و توزیع سرعت شكل یکنواخت‌تری را به خود اختصاص دهد سرعت لغزش نيز مقدار بيشتری را نسبت به



شکل ۱۱ - مقایسه سرعتهای آزمایشگاهی با توزیع لگاریتمی بر روی سطوح زیر

- مولفه افقی سرعت جریان بر روی تاج نفوذپذیر به مراتب بیش از مولفه افقی سرعت تحت شرایط بدون نفوذ است.
- مولفه قائم جریان برای مقطع مورد آزمایش در تاج بند و برای شرایط بدون وجود نفوذ در سطح تاج، مقادیر مثبت ولی کوچکی را به خود اختصاص می‌دهد در حالی که برای جریان گذری از روی تاج بند نفوذپذیر، مولفه قائم سرعت مقادیر منفی و با بزرگی (قدر مطلق) بیشتری را دارد.
- در شرایط مشابه گذر دبی یکسان از روی بند و برای مقطعی مشابه، تحت شرایط وجود نفوذ تنشهای برشی رینولدز بیش از تنشهای تحت شرایط عدم نفوذ است.
- پروفیل سرعت بر روی تاج بند توری سنگی تحت نفوذ، از یکنواختی بیشتری نسبت به پروفیل سرعت در جریان بر روی بسترمتخلخل تحت نفوذ، همچون آزمایشهای گوپتا، پاودیل [۳]، برخوردار است و این به سبب تفاوت شرایط گذر جریان در بدنه متخلخل بند با شرایط گذر جریان بر روی آن بسترهاست. همچنین سرعتهای لغزش بیشتری بر روی بند در مقایسه با این نوع محیطهای متخلخل واقع می‌شود.
- ثابتهای پیشنهادی برای معادله توزیع سرعت در جریان بر روی بسترها متخلخل تحت نفوذ، برای جریان گذری از روی بند توری سنگی صدق نمی‌کند.

شرایط نامعمول که با گذاردن صفحه فلزی بر روی سطح تاج، از نفوذ جریان به داخل آن سطح ممانعت به عمل آمده است. این مقایسه کمک می‌کند تا بدانیم چنانچه بتوان در شرایط واقعی، از نفوذ جریان در سطح تاج بند توری سنگی ممانعت شود، تنشها در آن سطح کاهش می‌یابند و نیز آگاه باشیم که ثابتهای پیشنهادی برای معادله توزیع سرعت در جریان بر روی بسترها متخلخل تحت نفوذ، برای جریان گذری از روی بند صدق نمی‌کنند.

۶- نتیجه‌گیری

- نتایج به دست آمده از آزمایشهای فیزیکی مدل بند توری سنگی و بررسی بر روی آنها موارد زیر را به دست داده است.
- توزیع سرعت بر روی بند با تاج نفوذناپذیر، توزیعی لگاریتمی است اما مقادیر سرعتهای آزمایشگاهی نشان داده‌اند که سرعتهای واقعی بیش از مقادیر به دست آمده از توزیع لگاریتمی مرسوم به دست می‌آیند.
- توزیع سرعت بر روی بند با تاج نفوذپذیر توزیعی لگاریتمی ولی متفاوت با توزیع لگاریتمی مرسوم برای سطوح نفوذناپذیر است. سرعتهای نرمالایز شده واقعی در هر تراز، بیش از سرعتهای ارائه شده توسط این توزیع لگاریتمی است.
- در شرایط مشابه و گذر دبی یکسان از روی بند توری سنگی،

واژه نامه

1. ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) 2. no slip condition 3. sampling volume

مراجع

1. Kells, J. A. "Spatially Varied Flow over Rock Fill Embankments," *Can. J. Civ. Eng.* Vol. 20, pp. 820-827
2. Sheibani, H.R. "Hydraulic Analysis Modeling of Gabion Dam With Sealed Upstream Face," Ph. D. Thesis, Amir-Kabir University , Tehran ,Iran, 2004.
3. Gupta, A. D. and Paudyal, N. G., "Flow over Gravel Bed," *J. Irr. Drain. Eng.*, ASCE, Vol. 111, No. 4, pp. 299-318, 1985.
4. Maclean, A. G., "Open Channel Velocity Profiles over a Zone of Rapid Infiltration," *J. Hyd. Res.*, Vol. 29, No. 1, pp. 15-27, 1991.
5. Chiew, Y.M., and Chen, X., "Bed Shear Stress in Open Channel Flow with Bed Suction," XXIX IAHR Congress Proceedings, Beijing, China, 2001.
6. Chen, X., and Chiew, Y.M., "Velocity Distribution of Turbulent Open Channel Flow with Bed Suction," *J. Hyd. Eng.*, Vol. 130, No. 2, pp. 140-148, 2004.
7. Nortek As (2000), Nortek 10 MHz Velocimeter – Operational Manual, Nortek As Company.
8. Cheng, N.S., and Chiew Y. M., "Turbulent Open Channel Flow with Upward Seepage", *J. Hyd. Res.*, Vol. 36, No. 3, pp. 415-431, 1998.