



ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران
دانشگاه شهرکرد، ۱۵-۱۳ شهریور ۱۳۸۶



بررسی تغییرات تنش برشی و انرژی جنبشی، در جریان متلاطم، بر روی ریپل‌ها در بستر کانالهای باز

سعید جعفری میانائی

دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی، تلفن: ۰۹۱۳-۱۸۶-۱۹۹۴، پست الکترونیک: saeedj@gmail.com

علیرضا کشاورزی

دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی، تلفن: ۰۹۱۷-۱۲۸-۱۱۷۸، پست الکترونیک: keshavrz@shirazu.ac.ir

چکیده

در اغلب جریان‌های دو فازی با نرخ انتقال رسوب بالا، شکل کف بستر هموار نبوده بلکه معمولاً با پستی و بلندی‌هایی همراه است. در چنین شرایطی خصوصیات جریان مانند مقاومت جریان، میانگین سرعت، و نرخ انتقال رسوب نسبت به جریان بر روی بسترهای هموار، کاملاً متفاوت می‌باشد. عموماً در تحقیقاتی که در زمینه جریان بر روی بستر ناهموار انجام شده، خصوصیات کلی جریان مانند ضریب اصطکاک و یا نرخ انتقال رسوب مد نظر قرار گرفته است. در این تحقیق به بررسی توزیع تنش برشی رینولدز و تغییرات انرژی جنبشی، بر روی ریپل‌ها پرداخته شده است. آزمایشات بر روی ریپل‌های مصنوعی قرار داده شده در کف فلوم، با سه طول موج مختلف، انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری سرعت از دستگاه سرعت سنج اولتراسونیک استفاده گردید و سرعت در فاصله یک سانتی‌متری بالای ریپل، اندازه‌گیری شد. با استفاده از نرم افزار برست، بر اساس فرآیند برست، آنالیز بر روی داده‌ها انجام گرفت. نتایج نشان دادند که مقدار تنش برشی از لحاظ مقدار در فاصله بین دو ریپل شروع به افزایش نموده و در ابتدای شیب بالادست ریپل دوم دارای حداکثر مقدار خود می‌باشد. همچنین، میزان انرژی جنبشی در جهت جریان بمراتب از میزان انرژی جنبشی در جهت عمود بر جریان، بیشتر است. نحوه تغییرات انرژی جنبشی در هر سه آزمایش از یک روند یکسان تبعیت می‌کند.
واژه‌های کلیدی: ریپل، تنش برشی رینولدز، انرژی جنبشی، جریان متلاطم.

۱- مقدمه

حرکت مواد ناشی از تنش برشی اعمال شده از طرف جریان آب نسبت به حالت آستانه ذرات، سبب ایجاد ناهمواری-هایی در بستر تحت عنوان فرم بستر در رودخانه می‌گردد. از کل تنش برشی وارده به بستر رودخانه، برخی صرف تشکیل



ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران

دانشگاه شهرکرد، ۱۵-۱۳ شهریور ۱۳۸۶



فرم بستر شده که این بخش بعنوان بخشی از مقاومت در مقابل جریان محسوب می‌گردد. لذا تاثیر مستقیم فرم بستر بر روی زبری و در نتیجه مقاومت در مقابل جریان و شناخت هر چه بیشتر فرم بستر از اهمیت خاصی برخوردار است. از آنجا که محاسبات دبی- اشل رودخانه و سرعت جریان کاملاً به تعیین زبری فرم بستر بستگی دارد، شناخت فرم بستر از با شکل ریپل انجام شد نشان داد که جریان‌های گردابی تشکیل شده در پشت ریپل‌ها تاثیر بسیاری بر روی حرکت رسوب در چنین مسائلی خواهد داشت. همانطور که گفته شد در اکثر تحقیقات انجام شده بر روی جریان‌های دارای شکل بستر ناهموار، خصوصیات کلی جریان در نظر گرفته شده و تاکنون کمتر به بررسی ساختار جریان، نحوه تغییرات تنش برشی رینولدز و انرژی جنبشی پرداخته شده است. بنابراین با توجه به ناکافی بودن تحقیقات انجام شده در این زمینه و اهمیت شناسایی ساختار جریان با بستر ناهموار در بررسی پدیده‌های انتقال رسوب، در این مقاله به بررسی مشخصات و نحوه تغییرات تنش برشی رینولدز و انرژی جنبشی بر روی ریپل‌ها پرداخته شده است. در این آزمایشات، بستر ناهموار به طور مصنوعی در کف فلوم آزمایشگاهی ساخته شد و مقادیر سرعت نقطه‌ای توسط دستگاه سرعت سنج اولتراسونیک سه بعدی (micro ADV) اندازه‌گیری گردید.



ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران

دانشگاه شهرکرد، ۱۵-۱۳ شهریور ۱۳۸۶



۲- روش انجام آزمایش

در این تحقیق کلیه آزمایشات، در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز انجام گردید. آزمایشات در یک فلوم شیشه ای با شیب طولی قابل تغییر به طول ۱۵ متر، عرض ۰/۷ متر و عمق ۰/۶ متر انجام گردید. جریان آب درون فلوم، از یک استخر توسط یک پمپ با حداکثر آبدهی ۵۰ لیتر در ثانیه تامین می‌گردد که پس از عبور از فلوم مجدداً به استخر باز می‌گردد. نرخ جریان عبوری از فلوم توسط یک سرریز مثلثی شکل با زاویه راس ۹۰ درجه که قبلاً کالیبره شده بود، اندازه‌گیری گردید. در انتهای فلوم یک دریچه کشویی جهت کنترل عمق جریان نصب گردید. برای جلوگیری از شسته شدن رسوبات قرار گرفته در ابتدای فلوم، صفحات فلزی پایه داری در بالادست رسوبات نصب گردید. بطوری که سطح این صفحات فلزی با سطح رسوبات قرار گرفته در کف فلوم در یک تراز باشد. در آزمایشاتی که توسط دیگر محققین انجام شده، دیده شده است که برای تشکیل ریپل‌ها، قطر متوسط رسوبات بایستی کمتر از ۰/۷ میلی‌متر باشد (ویلیام و کمپ^۱ ۱۹۷۲). لذا دانه بندی رسوبات مورد استفاده در این آزمایش دارای قطر میانگین رسوبات برابر $d_{50} = 0.62$ میلی‌متر و مقدار ضریب دانه بندی برابر $C_D = 1.53$ و مقدار ضریب انحناء نیز برابر $C_U = 1.03$ می‌باشد. جهت ساخت بستر ثابت، از دو ریپل مصنوعی ساخته شده از گالوانیزه و زیر شده توسط ذرات رسوب ریخته شده در کف، استفاده گردید. با توجه به ابعاد ریپل‌هایی که معمولاً در طبیعت وجود می‌آید، دیده شده است که آنها معمولاً دارای شکل مثلثی بوده و طول موجی کمتر از ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاعی کمتر از ۵ سانتی‌متر دارند. همچنین زاویه پشت به جریان ریپل‌ها برابر زاویه ایستایی ذرات است. لذا در این تحقیق از سه طول موج ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاعی برابر ۳ سانتی‌متر برای مدل سازی ریپل‌ها استفاده شد. زاویه ایستایی برابر 31° اندازه‌گیری شد. شکل شماتیک ریپل‌ها به همراه فرم‌های مختلف قرارگیری آنها در کف کانال و مکان نقاط مختلف اندازه‌گیری شده در آزمایش‌های اول، دوم و سوم، در شکل (۱) نشان داده شده است. اندازه‌گیری سرعت نقطه‌ای آب، با استفاده از یک دستگاه سرعت‌سنج سه بعدی ADV، در یک سانتی‌متری بالای ریپل‌ها، صورت گرفت. لازم به ذکر است که علاوه بر دقت بسیار بالایی که این دستگاه سرعت‌سنج بر اساس پدیده دوپلر به دست می‌دهد، از مزایای دیگر آن، این است که به علت این که سرعت‌سنجی در نقطه‌ای دور از انتهای بازوی دستگاه انجام می‌شود و هیچ جسم فیزیکی‌ای در آن مکان وجود ندارد، در نتیجه میدان جریان توسط دستگاه تحت تاثیر قرار نگرفته و اندازه‌گیری سرعت با دقت بسیار خوبی انجام می‌شود. نرخ جریان برای هر آزمایش متفاوت انتخاب گردید و متناسب با دبی، اعماق مختلف هر آزمایش اندازه‌گیری شد. جدول (۱) شرایط هیدرولیکی آزمایشات را نشان می‌دهد.

1 - Williams & kemp



۳- نتایج و بحث

بر اساس اندازه‌گیری سرعت در دو بعد افقی و عمودی، ابتدا نوسانات سرعت (u' و v') بوسیله تغییرات میانگین سرعت لحظه‌ای در دو راستای افقی و عمودی بدست می‌آید. نوسانات سرعت به صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$u' = u - \bar{u}$$

$$v' = v - \bar{v}$$

که u و v به ترتیب سرعت‌های لحظه‌ای در راستای افقی و عمودی و u' و v' میانگین سرعت لحظه‌ای در راستای افقی و عمودی می‌باشند. میانگین سرعت‌های لحظه‌ای از روابط زیر بدست می‌آید:

$$\bar{u} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i$$

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i$$

که n تعداد نمونه‌هاست. در نهایت مقدار تنش برشی رینولدز از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\tau = -\rho \overline{u'v'}$$

که در آن:

$$\overline{u'v'} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i'v_i'$$

در این آزمایش تغییرات تنش برشی وانرژی جنبشی در طول فلوم برای سه حالت مختلف قرارگیری ریپل، محاسبه و رسم گردید که در جداول ۴ و ۳، ۲ و در نمودارهای ۳ و ۲ آورده شده است. در نمودار (۱) مشاهده می‌شود که تغییرات تنش برشی در هر سه حالت مختلف قرارگیری ریپل‌ها از یک روند خاص تبعیت می‌کند. در عمق ۱ سانتی‌متری بالای ریپل، میزان تغییرات تنش برشی در ریپل اول بسیار کند بوده و با حرکت از پایین دست ریپل اول به طرف تاج، تغییرات قابل ملاحظه‌ای مشاهده نمی‌گردد. مقدار تنش برشی از لحاظ مقدار در فاصله بین دو ریپل شروع به افزایش نموده و در ابتدای شیب بالادست ریپل دوم دارای حداکثر مقدار خود می‌باشد. هر چه به طرف تاج ریپل دوم نزدیکتر می‌شویم از مقدار تنش برشی کاسته می‌گردد. در شیب پشت به جریان ریپل‌ها، مقدار تنش برشی وارده مثبت می‌باشد که تشکیل



ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران

دانشگاه شهرکرد، ۱۵-۱۳ شهریور ۱۳۸۶



جریان‌های گردابی در پشت ریپل، می‌تواند دلیل وقوع این امر باشد. وجود تنش برشی زیاد در بین دو ریپل می‌تواند مؤید فرسایش شدید در این ناحیه باشد که ناحیه بین دو ریپل در طبیعت معمولاً به دلیل فرسایش، به صورت گودی و فرورفتگی می‌باشد. اما در مورد تغییرات انرژی جنبشی، میزان انرژی جنبشی در جهت جریان عمود بر جریان، بیشتر است. با حرکت از شیب بالادست ریپل به سمت تاج ریپل اول، میزان انرژی جنبشی در جهت جریان عمود افزایش یافته و در نزدیکی تاج به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در قسمت شیب پشت به جریان ریپل اول، این مقدار رو به کاهش گذاشته و مجدداً در فاصله بین دو ریپل و در ابتدای ریپل اول رو به افزایش می‌گذارد. مقدار انرژی جنبشی در جهت جریان، در قسمت شیب پشت به جریان که همان مناطق وقوع رسوبگذاری است، دوباره کاهش می‌یابد. نحوه تغییرات انرژی جنبشی در جهت عمود بر جریان، برای هر سه حالت ریپل، دارای یک روند یکسان می‌باشد. با حرکت از بالادست ریپل اول به سمت تاج ریپل، این میزان افزایش می‌یابد. در نزدیکی تاج ریپل دوم از میزان انرژی جنبشی کاسته شده و این کاهش تا شیب پشت به جریان ریپل تداوم دارد.

۴- نتیجه گیری

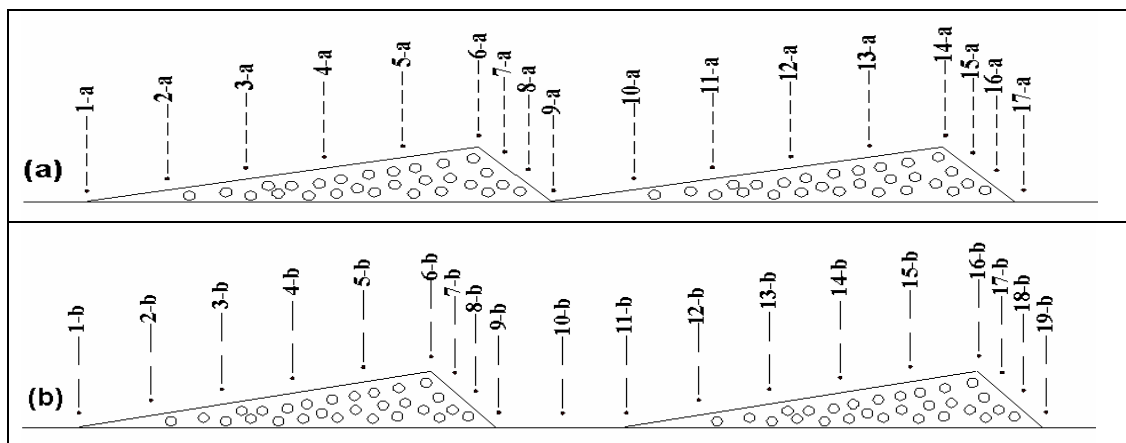
به منظور مطالعه تغییرات تنش برشی و انرژی جنبشی و نحوه تغییرات آنها بر روی ریپل‌ها، میدان جریان متلاطم در بین دو ریپل به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های بدست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و تغییرات تنش برشی و انرژی جنبشی در نقاط مختلف بر روی ریپل، محاسبه گردید. با تحلیل داده‌های بدست آمده مشخص گردید که مقدار تنش برشی از لحاظ مقدار در فاصله بین دو ریپل شروع به افزایش نموده و در ابتدای شیب بالادست ریپل دوم دارای حداکثر مقدار خود می‌باشد. هر چه به طرف تاج ریپل دوم نزدیکتر می‌شویم از مقدار تنش برشی کاسته می‌گردد. در مورد تغییرات انرژی جنبشی، میزان انرژی جنبشی در جهت جریان بمراتب از میزان انرژی جنبشی در جهت عمود بر جریان، بیشتر است و با حرکت از شیب بالادست ریپل به سمت تاج ریپل اول، میزان انرژی جنبشی در جهت جریان عمود افزایش یافته و در نزدیکی تاج به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

۵- مراجع

۱. نبوی، هدایت‌الله، بررسی ساختار جریان بر روی ریپل‌ها، ۱۳۸۳، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، بخش مهندسی آب، دانشگاه شیراز.
۲. شفاعی بجستان، محمود، هیدرولیک رسوب، ۱۳۷۳، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

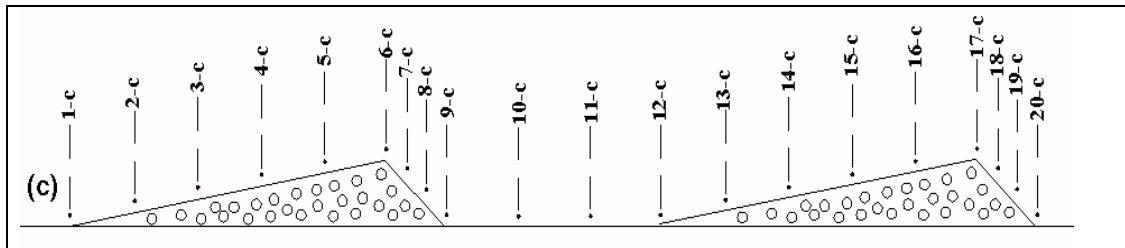


3. Keshavarzi, A.R, Ball, J.E., , 1997, An analysis of the characteristics of rough bed turbulent shear stress in an open channel flow, J. Stochastic Hydrol and hydraulics, 11(3):193-210
4. Keshavarzi AR, Ball JE (1999) An application of image processing in the study of sediment motion. J Hydra Res 37(4):559-576





ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران
 دانشگاه شهرکرد، ۱۵-۱۳ شهریور ۱۳۸۶



شکل ۱ شمای کلی آزمایش هر آزمایش به همراه نقاط مختلف اندازه‌گیری شده بر روی آن. طول موج‌های انتخاب شده برای آزمایش (a), $L=20$ cm آزمایش (b), $L=25$ cm و در آزمایش (c), $L=30$ cm

جدول ۱ خصوصیات کلی جریان در آزمایشات انجام شده

شماره آزمایش	d_{50} (mm)	L (cm)	\bar{u} (m/s)	h (cm)	Q ($\frac{Lit}{s}$)	Fr
(۱)	۰,۶۲	۲۰	۰,۲۱	۱۳,۸	۲۰,۳	۰,۱۸
(۲)	۰,۶۲	۲۵	۰,۲۲	۱۴,۶	۲۲,۵	۰,۱۸۳
(۳)	۰,۶۲	۳۰	۰,۲۱۹	۱۶,۳	۲۵	۰,۱۷۳



کنفرانس هیدرولیک ایران



دانشگاه شاهرود
رکورد، ۱۵-۱۳ شهریور ۱۳۸۶

	۱-a	۲-a	۳-a	۴-a	۵-a	۶-a	۷-a	۸-a	۹-a	۱۰-a	۱۱-a	۱۲-a	۱۳-a	۱۴-a	۱۵-a	۱۶-a	۱۷-a
انرژی جنبشی (X)	۸,۷۹	۱۰,۳۹	۱۰,۶۳	۹,۰۹۷	۱۰,۵۵	۹,۸۶	۹,۶۵	۳۳,۹۸	۳۲,۷۰	۱۸,۶۷	۲۶,۸۸	۳۱,۹۹	۲۶,۴۶	۲۳,۹۵	۷۴,۲۴	۷۴,۲۴	۱۰,۴۸
انرژی جنبشی (Y)	۱,۰۴۲	۱,۲۶۳	۱,۵۴۱	۱,۱۹۲	۱,۲۷	۱,۳۴۳	۱,۳۹	۱,۴۲	۲,۶۶۴	۳,۵۷	۵,۴۷۵	۶,۳۹۷	۴,۳۵۸	۴,۴۵۲	۱,۹۵۵	۱,۹۵۵	۱,۱۸۴
تنش برشی (XY)	-۲,۰۸	-۲,۳۸	-۲,۳۱	-۰,۸۸	-۰,۱۶	-۰,۴۱	۰,۰۹۱۱	۳,۶۴۷	۱,۲۲۲	-۷,۴۳	-۱۰,۸	-۱۳,۸	-۷,۰۶	-۵,۹۵	۰,۷۹۳	۰,۷۹۴	۲,۹۲۳

جدول ۲ آنالیز داده‌ها در عمق اسانتی از سطح ریپل در آزمایش a

جدول ۳ آنالیز داده‌ها در عمق اسانتی از سطح ریپل در آزمایش b

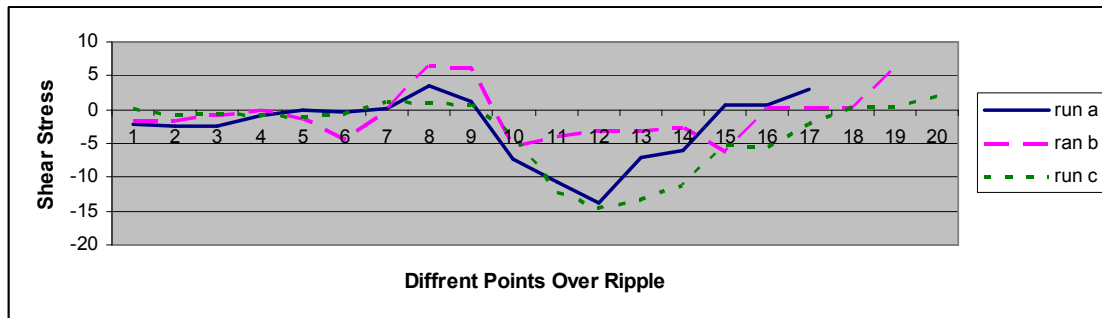
	۱-b	۲-b	۳-b	۴-b	۵-b	۶-b	۷-b	۸-b	۹-b	۱۰-b	۱۱-b	۱۲-b	۱۳-b	۱۴-b	۱۵-b	۱۶-b	۱۷-b	۱۸-b	۱۹-b
انرژی جنبشی (X)	۶,۸۲	۷,۳۰۷	۷,۳۳	۱۱,۳۹	۶,۵۲	۲۸,۵	۹,۶۵	۳۴,۲	۳۲,۶	۱۶,۳۵	۱۲,۷۸	۱۳,۰۱	۱۲,۴۸	۱۱,۳۱	۲۷,۷	۴,۸۹	۴,۹۱۵	۴,۸۹	۳۲,۶
انرژی جنبشی (Y)	۰,۸۴	۰,۹۳۱	۰,۹۵۷	۱,۰۶۶	۱,۰۰	۳,۲۰	۱,۳۳	۱,۴۷	۱,۲۲	۲,۲۲	۱,۷۴۶	۱,۶۰۵	۱,۷۴۶	۱,۴۸۶	۳,۰۵	۱,۰۷۱	۱,۰۶۸	۱,۰۷۱	۱,۲۲
تنش برشی (XY)	-۱,۶	-۱,۵۳	-۰,۹۷	-۰,۰۴	-۱,۳۷	-۴,۵	-۰,۱۲	۶,۴۲	۶,۲۰	-۵,۴۵	-۳,۹	-۳,۱۷	-۳,۲۱	-۲,۷۵	-۶,۲۴	۰,۲۴۵	۰,۲۶۵	۰,۲۶۵	۶,۲۰

جدول ۴ آنالیز داده‌ها در عمق اسانتی از سطح ریپل در آزمایش c

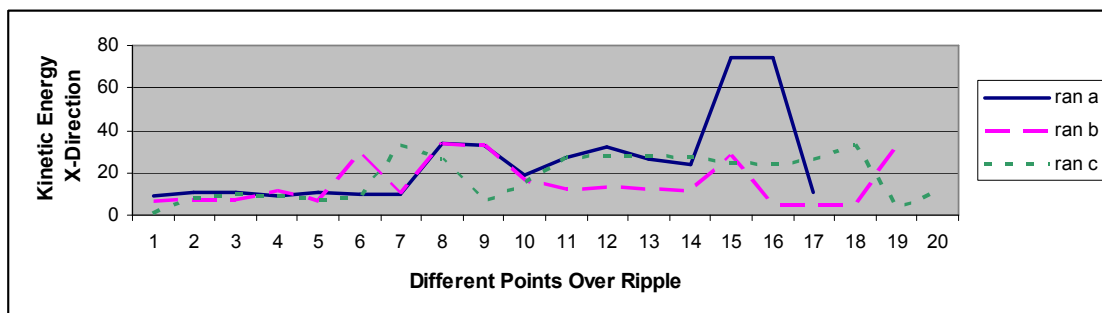
	۱-c	۲-c	۳-c	۴-c	۵-c	۶-c	۷-c	۸-c	۹-c	۱۰-c	۱۱-c	۱۲-c	۱۳-c	۱۴-c	۱۵-c	۱۶-c	۱۷-c	۱۸-c	۱۹-c	۲۰-c
انرژی جنبشی (X)	۰,۶۸	۷,۹۸	۹,۵۱۲	۸,۸۲	۷,۷۶	۸,۲۴	۳۲,۷	۲۶,۷	۶,۸۶	۱۴,۹	۲۷,۱۵	۲۸,۱۸	۲۸,۱۴	۲۷,۵۵	۲۴,۴۲	۲۴,۰۳	۲۶,۰۳	۳۳,۲	۳,۲۶	۱۰,۶
انرژی جنبشی (Y)	۰,۰۱۹	۰,۹۳	۰,۹۳۲	۰,۹۲	۰,۹۴۱	۱,۱۹۳	۲,۶۶	۱,۹۷	۶,۸۶	۳,۵۳	۷,۶۶	۸,۳۵۳	۸,۹۹	۸,۱۹۳	۷,۱۱	۶,۳۱	۵,۳۹	۴,۶۸	۰,۴۸	۱,۱۵
تنش برشی (XY)	۰,۰۷	-۰,۹۰	-۰,۷۱	-۰,۹	-۱,۰۸	-۰,۶۹	۱,۲۲	۱,۰	۰,۷۷	-۴,۰	-۱۲,۱	-۱۴,۶	-۱۳,۳	-۱۱,۱	-۵,۳۷	-۵,۴۸	-۲,۲۲	۰,۵۳	۰,۳۲	۲,۰۶



ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران
دانشگاه شهرکرد، ۱۵-۱۳ شهریور ۱۳۸۶



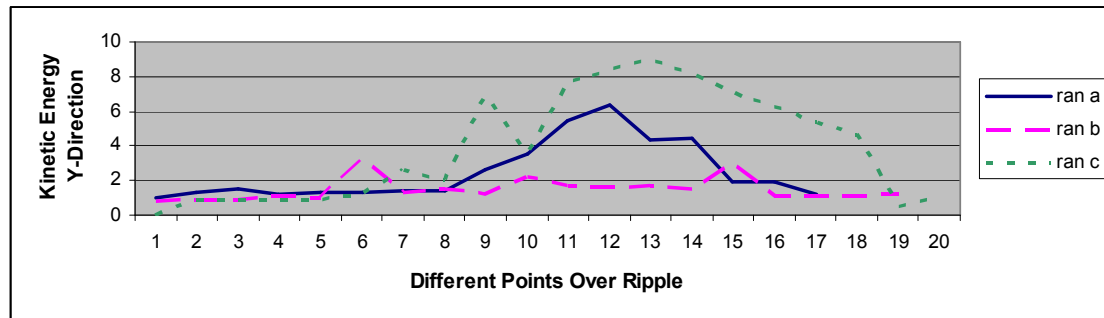
نمودار ۱ منحنی تغییرات تنش در عمق ۱ سانتی از سطح ریبیل در آزمایشهای a,b,c



نمودار ۲ منحنی تغییرات انرژی جنبشی در جهت جریان در عمق ۱ سانتی از سطح ریبیل در آزمایشهای a,b,c



ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران
دانشگاه شهرکرد، ۱۵-۱۳ شهریور ۱۳۸۶



نمودار ۳ منحنی تغییرات انرژی جنبشی در جهت عمود بر جریان در عمق ۱ سانتی از سطح ریبیل در آزمایشهای a,b,c