

تأثیر تبدیل کاهش دهنده عرض بر ارتفاع فرم بستر ریپل در شرایط هیدرولیکی مختلف

الهام روشنی^{۱*} - علی حسین زاده دلیر^۲ - داود فرسادی زاده^۳ - فرزین سلماسی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۳۰

چکیده

در آبراهه‌های آبرفتی، جریان آب دائماً بر روی رسوبات در حال حرکت اثر گذاشته و سعی دارد آنها را به پایین دست منتقل نماید. در این حین بر روی بستر جریان فرم بسترهایی با ابعاد مختلف و تحت شرایط هیدرولیکی مختلف تولید می‌شوند. در تحقیق حاضر، آزمایش‌ها به منظور بررسی اثر تبدیل‌های کاهش دهنده عرض بر روی ارتفاع فرم بستر ریپل تشکیل شده با زوایای مختلف ۵، ۱۰ و ۱۵ درجه انجام شد. در این آزمایش‌ها دبی ۱۰، ۱۲ و ۱۴ لیتر بر ثانیه بوده و شیب فلوم قابل تنظیم بود. نتایج نشان داد که کاهش عرض کانال به کمک تبدیل‌ها نقش مؤثری بر ارتفاع ریپل‌ها داشته و می‌توان تا حد زیادی به کمک تغییر در زوایای تبدیل‌ها، حرکات رسوبات به پایین دست را کنترل نمود. به کمک این نوع تبدیل‌ها انتقال رسوبات حدود ۱۵ الی ۲۰ درصد کم شد زیرا این تبدیل‌ها مانند یک مانع در حرکت رسوبات عمل می‌کنند. در دبی‌های کم دهانه ورودی تبدیل بخشی از انرژی جریان را گرفته و باعث افت انرژی می‌شود. اما با افزایش بیشتر دبی فرم‌های بستری با ارتفاع بیشتری ایجاد می‌کند. اگر چنانچه دبی بیش از ۱۴ لیتر بر ثانیه در کانال اعمال شود و یا زوایای تندتری در تبدیل ایجاد شود، تبدیل نقش مانع بودن خود را از دست داده و رسوبات بیشتری به پایین دست منتقل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: حرکت رسوبات، بسترهای آبرفتی، زاویه تبدیل ورودی، ریپل

مقدمه

قرار می‌گیرند، مانند تبدیل‌های کاهش دهنده عرض، به مطالعه تأثیر این سازه بر نحوه شکل‌گیری ریپل‌ها پرداخته شد. یکی از مشکلات اساسی در پیش‌بینی انتقال رسوبات، پیش‌بینی زبری بستر است. زیرا انتقال رسوبات به شدت وابسته به زبری بستر بوده و از سوی دیگر نیز زبری بستر وابسته به میزان انتقال رسوباتی است که توسط فرم بستر به حرکت در می‌آیند. از آنجا که برای پیش‌بینی دقیق ابعاد فرم بستر در ترکیب جریان موجی و پایدار با هم روش مشخصی وجود ندارد بایستی بصورت تجربی شرایط را بررسی کرده و تحت شرایط هیدرولیکی مختلف، با تغییر در دبی و شیب کانال، تغییرات خصوصیات هندسی ریپل‌ها را مورد بررسی قرار دهیم. تحلیل‌های ابعادی نشان می‌دهد که ابعاد فرم بستر و شرایط هیدرولیکی جریان پارامترهای اساسی و تأثیرگذار بر روی زبری و در نتیجه انتقال رسوبات هستند. نکته قابل توجه آنکه علیرغم حجم وسیع مطالعات در این زمینه، تأثیر حضور تبدیل بر نحوه شکل‌گیری فرم بستر و خصوصیات آن و در نتیجه انتقال رسوبات، مطالعه مبسوطی صورت نگرفته است. لاجرم به نظر می‌رسد که انجام چنین تحقیقی بتواند خلاء موجود را پر کند.

در زمینه تشکیل فرم بستر در بسترهای آبرفتی مطالعات زیادی صورت گرفته است که در ادامه به آنها اشاره می‌شود. برطبق نظریه

حرکت توده‌ای ذرات رسوبی در محیط سیال در یک بستر طبیعی با جنس رسوبات مشابه، انتقال رسوب نامیده می‌شود. زمانی که سرعت برشی کمی بیشتر از مقدار بحرانی آن می‌شود، ذرات شروع به غلطیدن و لغزیدن بر روی بستر کرده و دائماً با بستر در تماس هستند. با افزایش سرعت برشی، ذرات دچار پرش‌های منظم می‌شوند که به حرکات جهشی موسوم هستند. تحت شرایط هیدرولیکی مختلف، حرکت رسوبات در بستر جریان قادر است مقاومتی در مقابل جریان آب ایجاد کند. این حرکت موجب ایجاد فرم‌های بستر می‌شود.

جریان آب علاوه بر انتقال آب در مقطع رودخانه، موجب حرکت رسوبات و تشکیل فرم‌های بستر در بستر رودخانه می‌گردد. این فرم‌های بستر بسته به شرایط هیدرولیکی و ابعاد مسئله، انواع مختلفی دارند که مطالعه آنها در حیطه مهندسی رودخانه به فهم نحوه انتقال و حرکت ذرات و مقاومت‌هایی که بر سر راه جریان آب است کمک می‌کند. همچنین به منظور بررسی اثر سازه‌هایی که بر سر راه جریان

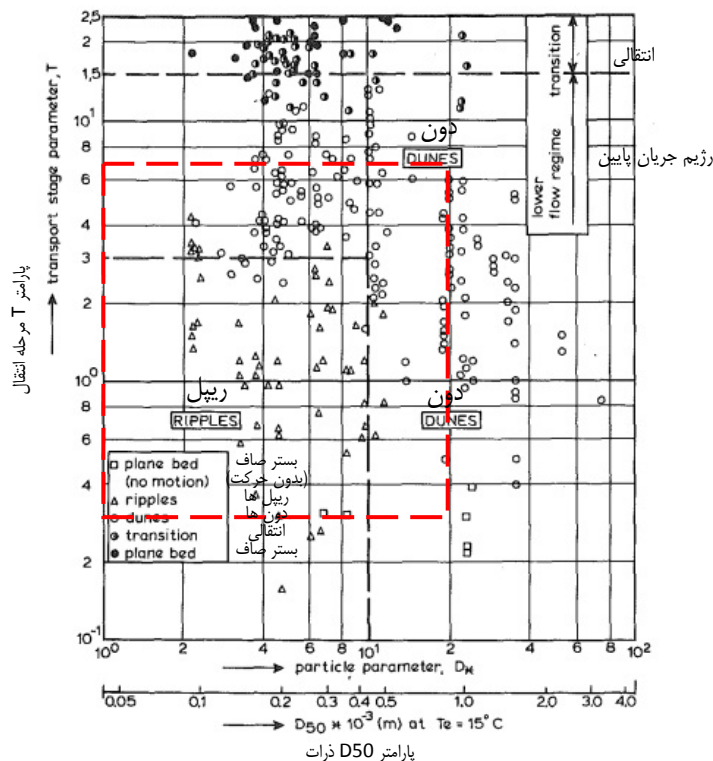
۱، ۲، ۳ و ۴ - به ترتیب دانش آموخته دوره دکتری، استاد و دانشیاران گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز

(* - نویسنده مسئول: Email: elhm.roshani@gmail.com)

که در آن $u_*' = \frac{\sqrt{8}}{C'} \cdot \bar{u}$ سرعت برشی بستر مرتبط با ذرات و $C' = 18 \log \left(\frac{12R_b}{3D_{90}} \right)$ است که همان ضریب شزی ذرات است و R_b شعاع هیدرولیکی مرتبط با بستر خواهد بود. \bar{u} نیز سرعت متوسط جریان است. $u_{*,cr}'$ سرعت برشی بحرانی است که مربوط به پارامتر شیلدز می‌شود. بنابراین کاربرد پارامتر T در طبقه بندی فرم بستر در رژیم‌های جریان پایین و انتقالی با توجه به این نمودار قابل بیان است. این نمودار مناطق مشخصی را برای ریپل‌ها، دون‌ها و دون‌های شسته شده مشخص می‌کند. بر طبق این نمودار دون‌ها در حالت $T < 15$ شکل می‌گیرند. با در نظر گرفتن $D_* = \left[\frac{(S-1)g}{\nu^2} \right]^{1/3}$ به عنوان پارامتر قطر بدون بعد ذرات، زمانیکه قطر ذرات کوچکتر از ۴۵۰ میکرومتر بوده و $D_* \sim 10$ می‌شود ریپل‌ها کم کم پس از شروع حرکت تولید می‌شوند اما بعد از اینکه $T > 3$ شد از بین می‌روند. در شرایطی که $15 < T < 25$ باشد رژیم انتقالی همراه با دون‌های شسته شده وجود خواهند داشت. وقتی $T > 25$ شود نیز بستر مسطح شکل می‌گیرد. دیاگرامی که توسط ون رایین (۱۲) ارائه شده است به نظر معتبرترین دیاگرام برای رژیم جریان پایین و انتقالی بوده زیرا براساس تعداد زیادی از داده‌های صحرایی بوده که در آنها عمق جریان از کم تا خیلی زیاد تغییر کرده است.

ون رایین (۱۳)، زمانیکه سرعت جریان در حدود ۱۰ الی ۲۰ درصد بیشتر از سرعت بحرانی برای شروع حرکت ذره بوده و اندازه ذرات کوچکتر از ۵۰۰ میکرون است، ریپل‌های کوچکی بر روی سطح بستر تشکیل می‌شوند. پروفیل ریپل‌ها شکل نامتقارنی داشته و در پایین دست دارای شیب تند و در بالادست شیب ملایمی دارند. اگر چنانچه اندازه ذرات بزرگتر شوند با ایجاد سرعت‌های بیشتر در نزدیکی بستر ریپل‌های تشکیل شده دارای ارتفاع بیشتری شده و شبیه به ریپل‌های سه بعدی می‌شوند در این حالت تنوع طول و ارتفاع ریپل‌ها بیشتر می‌شود. از سوی دیگر در حرکت رسوبات در بسترهای آبرفتی، شرایط و هندسه مسیر حرکت بر روی انتقال و یا عدم انتقال رسوبات به پایین دست مؤثر هستند. چنانچه در مسیر حرکت کاهش عرض به هر نحوی اتفاق بیفتد، می‌تواند بر چگونگی حرکت سیال و به طبع آن حرکت رسوبات اثر گذاشته و پارامترهای جریان را نیز تحت تأثیر خود قرار دهد. ون رایین (۱۲) در مطالعه خود بر اساس تعداد زیادی از داده‌های منتج شده از فلوم‌ها و همچنین داده‌های صحرایی برای تعیین نوع فرم بستر شکل گرفته در کانال نموداری ارائه نمود که در شکل (۱) مشاهده می‌شود. این نمودار براساس پارامتر مرحله انتقال و قطر ذرات رسوبی طراحی شده است که به شرح زیر هستند:

$$T = \frac{(u_*')^2 - (u_{*,cr}')^2}{(u_{*,cr}')^2} \quad (1)$$



شکل ۱ - نمودار طبقه بندی فرم بستر در رژیم جریان پایین و انتقالی، ون رایین (۱۲)
Figure 1- Classified bed form in low and transition regime, Van Rijn (12)

جدول ۱- طبقه بندی فرم بستر ون راین (۱۲)
Table 1- Classified bed form, Van Rijn (12)

نوع رژیم Regime Type			l
جریان پایین Low Regime	$0 \leq T \leq 13$	مینی ریبیل MiniRipples	دون Dune
	$3 < T \leq 10$	مگاریبیل و دون MegaRipples	دون Dune
	$10 < T \leq 15$	دون Dunes	دون Dune
انتقالی Transition	دون های شسته شده و موج های ماسه ای Washed Dunes & Sand Waves		$15 < T \leq 25$
جریان بالا High Regime	Sand Waves	موج های ماسه ای	$T \geq 25Fr < 0.8$
	PlaneBeds or AntiDunes	بستر مسطح یا آنتی دون ها	$T \geq 25Fr \geq 0.8$

خلاصه نموداری که ون راین (۱۲) برای طبقه بندی فرم بستر انجام داد در جدول (۱) قابل مشاهده است. برای محاسبه طول و ارتفاع فرم بستر ون راین (۱۲) روابط جدول (۲) را ارائه نمود.

جدول ۲- روابط محاسبه طول و ارتفاع فرم بستر ون راین (۱۲)
Table 2- Height and length relations, Van Rijn (12)

$(500 \text{ to } 1000)D_{50}$	$(50 \text{ to } 200)D_{50}$	MiniRipple مینی ریبیل
$0.5D$	$0.02D(1 - e^{-0.17T})(10 - T)$	MegaRipple مگاریبیل
$\frac{\Delta}{\lambda} = 0.015 \left[\frac{D_{50}}{D} \right]^{0.3} (1 - e^{-0.5T})(25 - T)$	$\frac{\Delta}{D} = 0.11 \left[\frac{D_{50}}{D} \right]^{0.3} (1 - e^{-0.5T})(25 - T)$	Dune دون

بررسی اثر تغییر فرم بستر در آبراهه های آبرفتی بر میزان رسوب کف انتقالی در یک کانال آزمایشگاهی با قابلیت شیب پذیری و تحت شرایط جریان غیرماندگار انجام دادند.

سیمونس و همکاران (۸) به منظور محاسبه میزان رسوبات انتقالی در جریان همراه با فرم بستر به ارائه رابطه ای پرداختند. برای رسیدن به چنین معادله ای آنها در حین انجام آزمایش های خود سرعت حرکت فرم بستر در جهت جریان و ارتفاع متوسط فرم بستر را به کمک پروب هایی اندازه گیری و قرائت کردند. کولمن و ملویل (۳) در آزمایش های خود پروفیل بستر را در بازه های زمانی مشخص اندازه گیری کردند تا تغییرات بستر را بر اثر جریان آب تشخیص دهند. براساس نتایج آنها سرعت انتشار فرم بستر با افزایش ارتفاع فرم بستر کاهش می یابد. وو و یانگ (۱۶) با ارتباط دادن چندین پارامتر هیدرولیکی و رسوبی با یکدیگر به تخمین ضریب مانینگ پرداختند. بنت و بریج (۱) دینامیک و هندسه فرم بسترها را در حالت رسوبات ناهمگن بررسی کرد. سوتارد و باکی چوال (۹) به ارائه دیاگرامی براساس سرعت متوسط جریان، اندازه ذرات و نوع فرم بستر تشکیل شونده پرداختند. ون دیتی و همکاران (۱۴) در مطالعه ای به بررسی نحوه شروع حرکت ذرات رسوبی پرداخته و آن را به دو دسته تقسیم کردند. دسته اول حرکات ناقصی بودند که در سطوح پایین جریان

کریم (۵) در مطالعه خود به بررسی و پیش بینی ارتفاع نسبی ($\frac{h}{d}$) ارتفاع فرم بستر و d عمق جریان) فرم های بستر مختلف پرداخت. وی براساس افت انرژی که بر اثر نیروی درگ ناشی از فرم بستر ایجاد می شود و با توجه به افت کلی هد به پیش بینی ارتفاع نسبی فرم بستر پرداخته و رابطه ای برای تمامی فرم بسترها ارائه نمود. امید و همکاران (۷) به بررسی تأثیر حرکت بار بستر بر روی مقاومت جریان با داشتن دون های مصنوعی پرداختند. آزمایش های آنها در دو حالت جریان آب زلال و همراه با رسوبات با اعماق و سرعت های مختلف جریان انجام شد.

چگینی و پندر (۲) به بررسی آزمایشگاهی شرایط جریان یکنواخت بر روی حرکت رسوبات مختلف ریزدانه و فرم های تشکیل شده آن پرداختند. شیب جریان در سه حالت کم، متوسط و تند قرارداد شد و آشفتگی نزدیک بستر بر روی انتقال رسوبات و تشکیل فرم های بستر بررسی گردید. نتایج آنها حاکی از آن بود که بار بستر و فرم های تشکیل شده مرتبط با آن با افزایش مقدار شیب بستر جریان و نسبت عمق آب به اندازه ذرات تغییر می کنند.

اسماعیلی و همکاران (۴) به بررسی تأثیر فرم بستر بر روی ضریب زبری به کمک تلفیق روش عددی و آزمایشگاهی در جریان های غیرماندگار پرداختند. آنها مجموعه ای از آزمایش ها برای

آزمایش تزریق رسوبات بر اساس مقدار ماسه‌ای که در تله ماسه جمع می‌شود انجام می‌شد. تزریق میزان رسوبات از نتایج آزمایش‌های پیشین منتج شد. از این رو می‌توان بیان کرد که دبی بار بستر تقریباً برابر با دبی تزریق شده خواهد بود. ضخامت بستر رسوبی ۱۵ سانتی‌متر بود. این ضخامت بر مبنای حداکثر میزان آبشستگی که در آزمایش‌های مقدماتی مشاهده شده بود تعیین گردید. به کمک روش ونونی و بروکس (۱۰) اثر دیواره‌ها بر روی شعاع هیدرولیکی کاهش یافت و از شعاع هیدرولیکی اصلاح شده استفاده شد. سطح آب به کمک اشل‌هایی که در دیواره شیشه‌ای فلوم نصب شده بود با دقت ± 0.1 میلی‌متر قرائت گردید. به کمک یک تله ماسه که در انتهای فلوم نصب شده بود میزان رسوبات منتقل شده پس از خشک کردن، توزین شد تا دبی رسوب مشخص گردد (شکل ۳).

بر طبق تحقیقات ویلیامز (۱۵) که آزمایش‌هایی را برای بررسی تأثیر عرض فلوم و عمق آب بر روی نرخ انتقال رسوبات انجام داد، عرض انتخاب شده برای فلوم مناسب بوده و تأثیری بر شرایط و نتایج نخواهد داشت. وی در مطالعات خود نمودارهایی را ترسیم کرد که بر طبق آنها تأثیر عرض کانال به صورت انحراف از دبی واحد متوسط بیان می‌شد. بر طبق نتایج وی تنها در عرض 0.25 فوت بود که بیشترین انحراف از دبی واحد به میزان ۸ تا ۱۲ درصد مشاهده شد و در سایر حالات این مقدار بین ۰ تا ۶ درصد گزارش شده بود. عرض انتخاب شده فلوم ۵۰ سانتی‌متر ($1/69$ فوت) است که در محدوده مطلوب از لحاظ تأثیر ناچیز عرض خواهند بود. همچنین ویلیامز (۱۵) اشاره می‌کند که برای تمامی اهداف کاربردی، عرض کانال تأثیر معناداری بر روی روابط انتقال رسوب و دبی در یک عمق ثابت نخواهد داشت. در ابتدای هر آزمایش بستر رسوبی با استفاده از ابزار صاف‌کننده تا حد امکان صاف می‌گردید. آزمایش‌ها با سرعت نسبی $1.1 - \frac{V}{V_c} = 1$ انجام گرفت و تا زمانی ادامه یافت که بستر به حالت تعادل رسیده باشد. عدد رینولدز برشی $(U_* \cdot D_{50} / \nu)$ که U_* سرعت برشی بستر می‌باشد) در محدوده ۵۰ الی ۱۲۰ بود و بستر از نظر هیدرولیکی در حالت زیر قرار داشت. لازم به ذکر است که حرکت رسوبات فقط به صورت بار بستر بوده و هیچ گونه بار معلق وجود نداشت.

دبی در طول آزمایش ثابت بوده و آزمایش‌ها در شرایط ماندگار صورت گرفت. مدت زمان آزمایش‌ها یا حالت تعادل به گونه‌ای انتخاب گردید که هم تغییرات توپوگرافی در محدوده کانال به تعادل نسبی برسد و هم ارتفاع فرم بستر به حداکثر مقدار خود رسیده باشد. در حقیقت معیار تعادل به این صورت بود که تغییرات ارتفاع فرم بستر ناچیز بوده و فرم بستر دیگر تمایلی به افزایش ارتفاع نداشته و فقط حرکت‌های رو به جلو دیده می‌شد. در این مقطع زمانی، زمان آزمایش‌ها ثبت می‌شد.

اتفاق افتاده و بصورت پراکنده هستند اما دسته دوم که به حرکت‌های فوری موسومند شامل حرکت توده‌های رسوبات بوده که در سطوح بالاتر جریان اتفاق افتاده و حجم بیشتری از رسوبات را انتقال می‌دهند. لاجونس و همکاران (۶) به کمک سیستم تصویربرداری با سرعت بالا توانستند حرکت ذرات رسوبی را با دقت بالا دیده و دوره‌های حرکتی آنها را شامل پرواز ذرات، افزایش سرعت و در نهایت دوره استراحت آنها را تعیین و مشاهده نمودند.

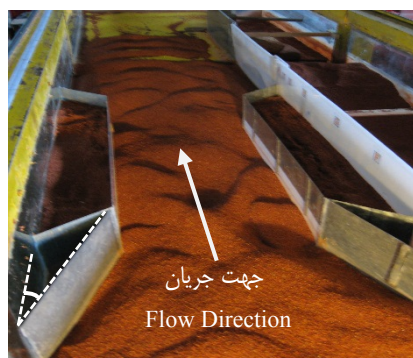
با بررسی منابع مشخص شد که تأثیر حضور تبدیل‌های کاهش دهنده عرض بر روی ارتفاع فرم بستر ریپل مورد مطالعه قرار نگرفته است و اطلاعاتی در این زمینه پیدانند. بنابراین به منظور پرکردن خلاء موجود به بررسی این موضوع اقدام شد. هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر تبدیل‌های کاهش دهنده عرض بر روی تشکیل فرم بستر ریپل بوده تا مشخص گردد که شرایط هیدرولیکی جریان چگونه در زوایای دهانه ورودی مختلف تبدیل با تغییر در سرعت و عمق آب می‌توانند ارتفاع فرم بستر ریپل را در محدوده تبدیل و پس از آن تغییر دهند. از سوی دیگر با محاسبه خصوصیات هندسی فرم بستر در حضور تبدیل‌ها می‌توان به بررسی تغییرات میزان انتقال بار بستر و در صورت امکان حذف یا تقلیل اثرات منفی بر شرایط مورفولوژی رودخانه و کاهش هزینه‌های ساخت، بهره‌برداری و نگهداری پرداخت. هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر تبدیل‌های کاهش عرض بر روی خصوصیات هندسی فرم بستر بوده تا مشخص گردد که پارامترهای هیدرولیکی جریان چگونه ابعاد فرم بستر را می‌توانند تغییر دهند و از سوی دیگر، با تغییر ویژگی‌های ریپل، چه تغییری در خصوصیات جریان اتفاق می‌افتد. در حقیقت به بررسی یک رابطه دو طرفه بین خصوصیات جریان و خصوصیات رسوب پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های تحقیق حاضر در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز انجام شد. فلوم مورد استفاده دارای طول ۶ متر، ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر و عرض ۸۰ سانتی‌متر می‌باشد که برای سهولت در جایجایی و تأمین رسوبات به اندازه کافی عرض کانال به اندازه ۳۰ سانتی‌متر به کمک دیواره‌های کاذب کاهش داده شد و به ۵۰ سانتی‌متر رسید (شکل ۲). همچنین در شکل (۲) زاویه α قابل مشاهده است. تبدیل‌ها به کمک ورق‌های گالوانیزه ساخته شدند. رسوبات با مشخصات $D_{50} = 0.86 \text{ mm}$ و $G_s = 2.3$ مورد استفاده قرار گرفت. جریان رسوبات به صورت بستر زنده بوده و از بالادست جریان، همراه با جریان آب به صورت منظم رسوبات نیز به داخل فلوم تزریق گردید. دبی رسوبی کانال بر اساس میزان رسوباتی که در تله ماسه جمع شده بود به دست آمد. به این صورت که در هر



شکل ۳- تله ماسه نصب شده در انتهای فلوم
Figure 3- The installed sand trap at the downstream of the flume



شکل ۲- نمایی از فلوم مورد استفاده به همراه تبدیل کاهش عرض
Figure 2- A picture of applied flume with reduced width transition

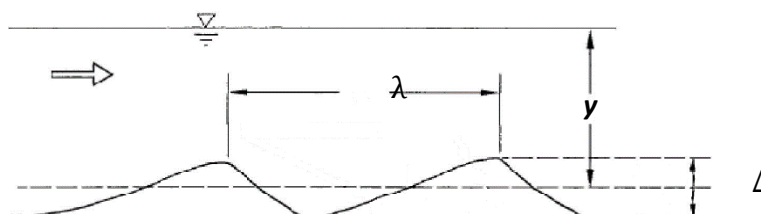
۱۲ و ۱۴ لیتر بر ثانیه تحت شیب‌های صفر، ۰/۰۰۶، ۰/۰۰۹، ۰/۰۱۲، ۰/۰۱۵ و ۰/۰۱۵ انجام پذیرفت. در دو شیب ۰/۰۰۹ و ۰/۰۱۲ برای چهار عمق مختلف آب، آزمایش‌ها تکرار شد. در جدول (۳) خلاصه‌ای از آزمایش‌های انجام شده قابل مشاهده است.

پس از انجام هر آزمایش و با پایین رفتن سطح آب پروفیل بستر به کمک مترلیزری مدل Leica DISTO D2 اندازه‌گیری شد. این متر دارای دقت ± 0.25 میلی‌متر در هر متر بود. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری در دو جهت طولی و عرضی کانال را داشت. اندازه ذرات در حدود ۳۵ برابر دقت مترلیزری است. آزمایش‌ها در سه دبی ۱۰،

جدول ۳- خلاصه مشخصات آزمایش‌ها

Table 3- Experiments characteristics

عمق (m) Depth	شیب Slope	دبی $L.S^{-1}$ Discharge
	0, 0.006, 0.015	10, 12, 14
d_5 و d_4 و d_3 و d_2	0.009, 0.012	
T3	T2	T1
15	10	5
زاویه تبدیل Transition Angle (Degree)		



شکل ۴- نمایی از پارامترهای مورد استفاده
Figure 4- Applied parameters in the experiments

می‌باشند.

تحلیل ابعادی

پارامترهای مورد استفاده در تحقیق حاضر به قرار شکل (۴)

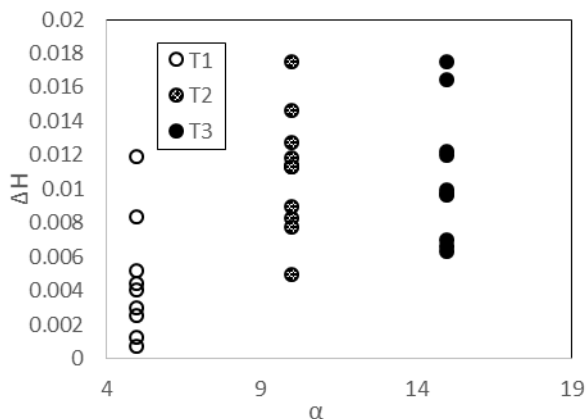
نتایج و بحث

ارتفاع فرم بستر

موج‌های رسوبی ایجاد شده در بستر در تمامی طول کانال وجود داشت. اما به منظور بررسی اثر تبدیل بر روی تغییر خصوصیات هندسی ریپل، منظور از ارتفاع فرم بستر در واقع متوسط ارتفاع فرم بستر پس از دهانه تبدیل است و از این پارامتر در تمامی نمودارها استفاده شد. اصولاً تبدیل‌هایی که موجب کاهش عرض کانال می‌شوند، دیواره‌های ابتدایی آنها برای حرکت رسوبات همانند یک مانع یا آبشکن عمل کرده و بخشی از انرژی آب را به خود جذب کرده و موجب اتلاف انرژی می‌شوند. این امر سبب می‌شود که در حالت بدون تبدیل جریان آزادی بیشتری برای ایجاد فرم بستر ریپل داشته و ارتفاع فرم بستر بالاتر برود. طبیعی است که اگر این کاهش عرض با شیب تندتری انجام شود انرژی بیشتری تلف شده و اثر ممانعت آن بر روی جریان آب بیشتر خواهد شد. به منظور بررسی اثر ممانعت تبدیل لازم است که در ادامه اتلاف انرژی را بررسی کنیم.

اثر تبدیل بر اتلاف انرژی

به منظور بررسی اثر دهانه تبدیل ورودی بر اتلاف انرژی جریان نمودارهایی در شکل (۵-الف) تا (۵-ج) رسم شده‌است. همانگونه که انتظار می‌رود با افزایش زاویه α ورودی تبدیل، در یک دبی ثابت، میزان اتلاف انرژی در دهانه تبدیل بیشتر شده‌است. محاسبه اتلاف انرژی بر اساس دو مقطع در ابتدا و انتهای دهانه صورت گرفته و با در دست داشتن عمق و سرعت جریان در این مقاطع انرژی محاسبه شد.



شکل ۵-ب- افزایش اتلاف انرژی در دبی $Q=12 \text{ L.S}^{-1}$
Figure 5-b- Increment in head loss in $Q=12 \text{ L.S}^{-1}$

پارامترهای فوق عبارتند از: متوسط عمق آب، Δ ارتفاع فرم بستر ریپل، λ طول فرم بستر. سایر پارامترهای مورد استفاده نیز عبارتند از: α : زاویه تنگ‌شدگی تبدیل، ρ : چگالی آب، ρ_s : چگالی ذرات رسوبی، μ : ویسکوزیته دینامیک، g : شتاب ثقل، U : سرعت متوسط جریان، D_s : قطر متوسط ذرات رسوبی. اگر ارتفاع فرم بستر تابعی از متغیرهای زیر باشد:

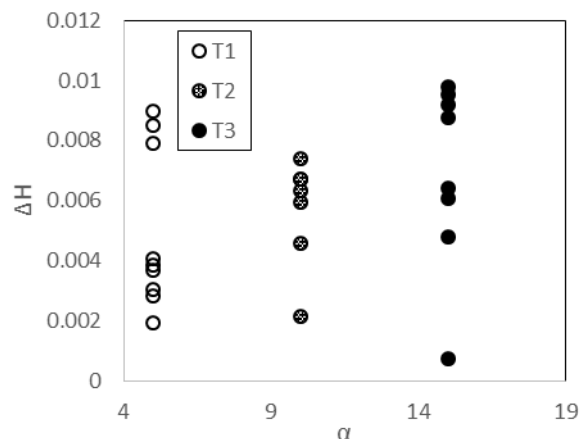
$$f(y, \Delta, \lambda, D_s, \alpha, u, \rho, \rho_s, \mu, g) = 0 \quad (2)$$

با استفاده از روش پی باکینگهام می‌توان رابطه (۲) را به شکل رابطه (۳) ساده کرد.

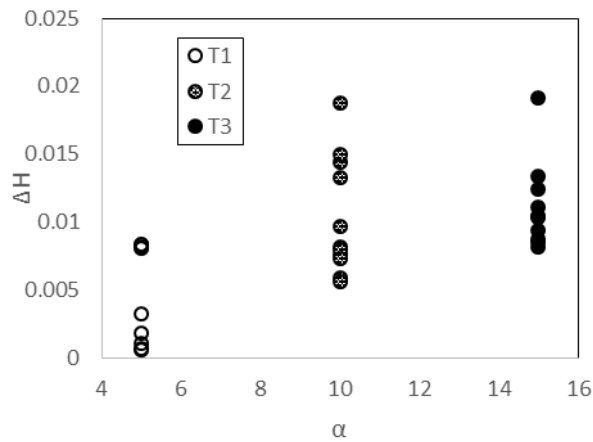
$$f\left(\frac{D_s}{y}, \frac{\lambda}{y}, \frac{\Delta}{y}, \frac{\rho_s}{\rho}, \alpha, R_e, Fr\right) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\Delta}{y} = f(Fr, \alpha) \quad (4)$$

عدد فرود بصورت $Fr = V/\sqrt{gy}$ تعریف شده که عدد فرود جریان است. همچنین لازم به ذکر است که در آزمایش‌ها عدد رینولدز در محدوده 10^4 تا 8×10^5 قرار گرفته که محدوده متلاطم و زیر است در نتیجه ارتفاع فرم بستر مستقل از آن خواهد شد، بنابراین از مجموعه پارامترهای مورد مطالعه خارج شد. مشخصات رسوبات از جمله قطر متوسط و چگالی ذرات رسوبی نیز ثابت بود. به منظور مقایسه اثر حضور تبدیل‌ها با حالتی که تبدیلی در کانال نیست، حالت بدون تبدیل نیز به عنوان حالت شاهد در آزمایش‌ها آورده شد و جمعاً ۱۳۶ آزمایش انجام شد.



شکل ۵-الف- افزایش اتلاف انرژی در دبی $Q=10 \text{ L.S}^{-1}$
Figure 5-a- Increment in head loss in $Q=10 \text{ L.S}^{-1}$

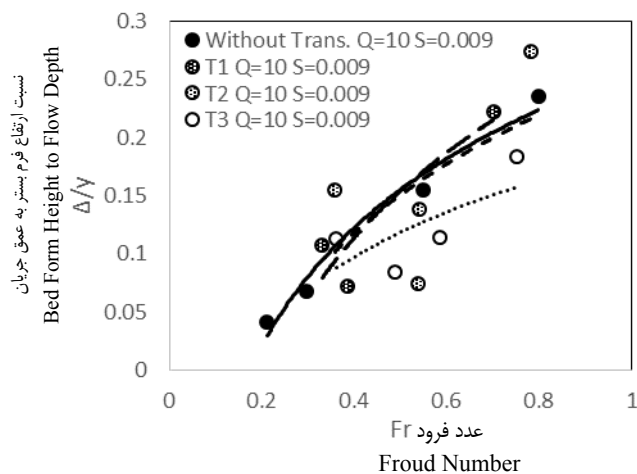
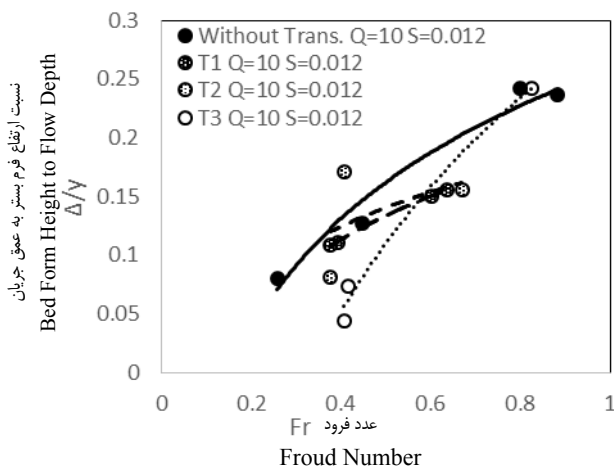


شکل ۵-ج - افزایش اتلاف انرژی در دبی $Q=14 \text{ L.S}^{-1}$
Figure 5-c- Increment in head loss in $Q=14 \text{ L.S}^{-1}$

۱۲ لیتربرثانیه حالتی بینابین داشته و در α های تندتر قادر نبوده است که فرم بستر بزرگتری نسبت به حالت بدون تبدیل ایجاد کند. با رسیدن دبی جریان به ۱۴ لیتربرثانیه انرژی جریان بیشتر شده و جریان در حضور تبدیل های کاهش دهنده عرض توانسته است ارتفاع فرم بستر بیشتری با افزایشی حدود ۱۰ الی ۱۲ درصد نسبت به حالت بدون تبدیل ایجاد کند و نسبت به دبی ۱۲ لیتربرثانیه ارتفاع فرم بستر بیشتر است. اما همچنان در این دبی نیز زاویه ۱۵ درجه که مربوط به تبدیل سوم است (بیشترین زاویه) مانعی بر سر راه جریان بوده و ارتفاع فرم بستر تشکیل شده در این تبدیل نسبت به حالت بدون تبدیل حدود ۱۲ درصد کمتر است. خطوطی که در بین نقاط برازش داده شده اند به منظور تشخیص سریع تر روند بوده و براساس بالاترین میزان R^2 در بین برازش های موجود انتخاب شده اند.

اثر تبدیل بر ارتفاع فرم بستر

در بررسی تشکیل فرم بستر و مطالعه ارتفاع آن، در دبی های کم مانند دبی ۱۰ لیتربرثانیه همانگونه که در شکل (۶) مشاهده می شود با اندازه گیرانرژی جریان، انرژی به اندازه ای نیست که بتواند بر روی اثر ممانعت تبدیل های کاهش عرض فائق آید و دیواره ها بخش زیادی از انرژی را گرفته و بنابراین با افزایش زاویه α تبدیل (یعنی تندتر شدن شیب دیواره های تبدیل) همانگونه که در بخش قبل توضیح داده شد، ارتفاع فرم بستر ایجاد شده در محدوده تبدیل و پس از آن نسبت به حالت بدون تبدیل ۱۵ الی ۲۰ درصد کاهش یافته است. با افزایش بیشتر دبی، در دبی ۱۲ لیتربرثانیه طبیعی است که انرژی جریان ورودی به تبدیل بیشتر شده و حرکت آب قادر بوده است که فرم های بستر با ارتفاع بیشتری ایجاد کند. اما همچنان دبی

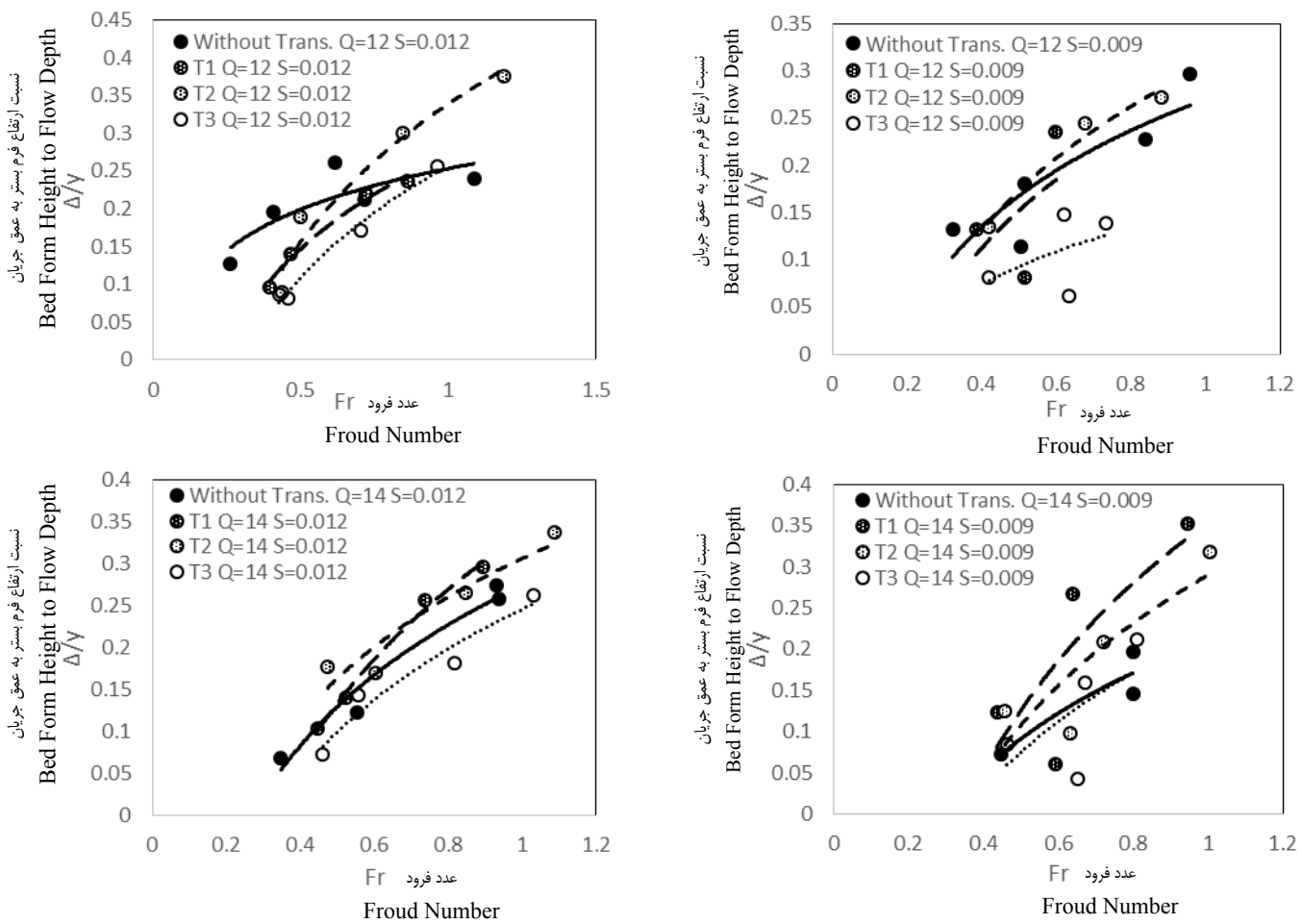


نسبت ارتفاع فرم بستر به عمق جریان

نسبت ارتفاع فرم بستر به عمق جریان

Froude Number

Froude Number



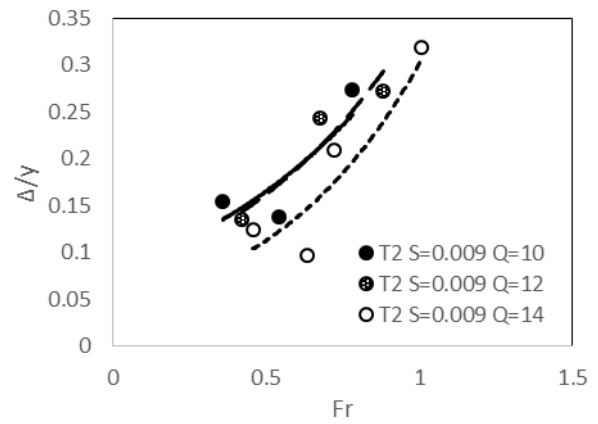
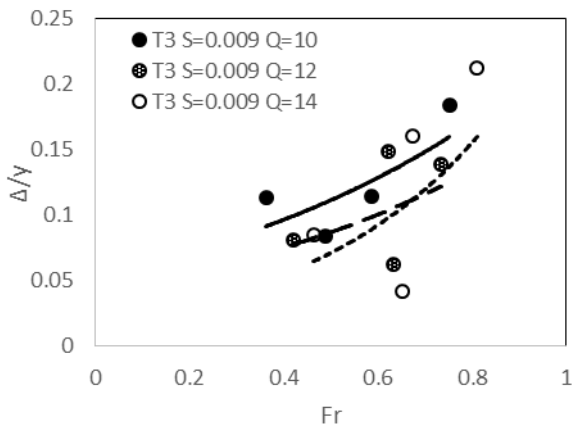
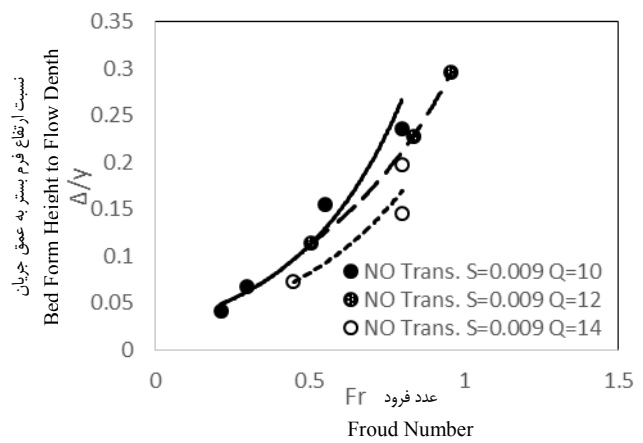
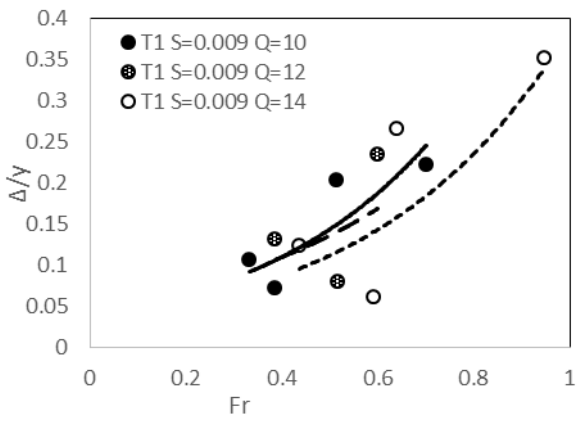
شکل ۶- تغییرات ارتفاع فرم بستر
Figure 6- Variation in bed height

فرم بستر شروع به افزایش کرده است. چنانچه مشاهده می شود در حالت تبدیل T1 که زاویه α آن از همه کمتر است ارتفاع فرم بستر با افزایش دبی زیاد شده است. در تبدیل T2 این افزایش ارتفاع فرم ادامه یافته است. اما با رسیدن به تبدیل T3 که شیب تندی داشت با افزایش دبی حتی در شیب $0/012$ جریان آب نتوانست به رسوبات غلبه کرده و با افزایش دبی، اثر افزایش عمق آب همچنان بیشتر از تأثیر افزایش سرعت بود. به عبارت دیگر زاویه α نقش بازدارنده در مقابل جریان آب داشت.

مقایسه اثر افزایش دبی

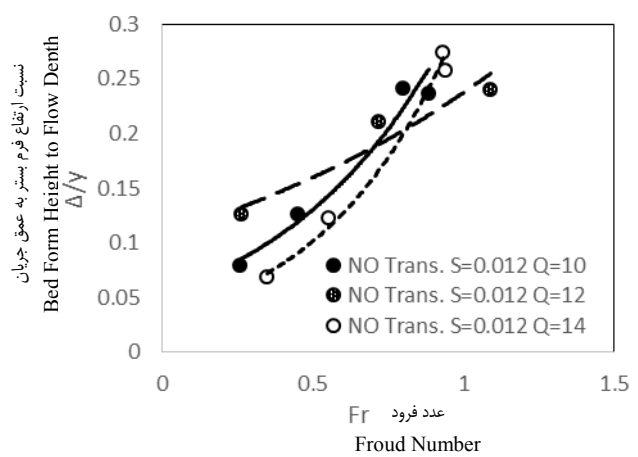
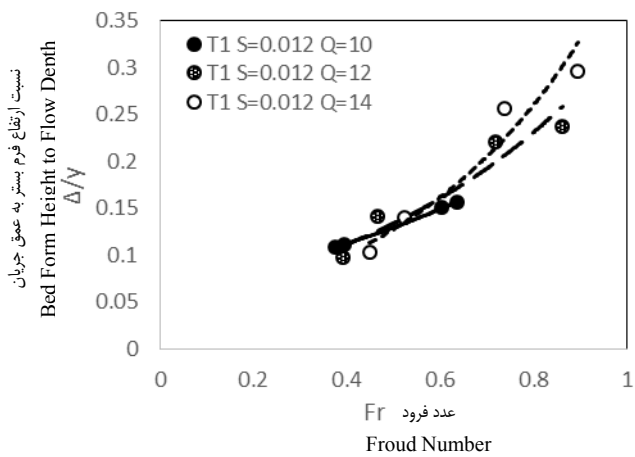
با توجه به شکل‌های (۷-الف) و (۷-ب) در شیب ثابت $0/009$ مشاهده شد که با افزایش دبی در هریک از حالت‌های با تبدیل و بدون تبدیل، در یک عدد فرود ثابت ارتفاع فرم بستر کاهش پیدا کرده است. این امر بدان علت است که با ثابت ماندن عدد فرود و افزایش دبی بایستی عمق و سرعت هر دو افزایش پیدا کرده باشند و با افزایش عمق آب پارامتر $\frac{\Delta}{y}$ کم شده است.

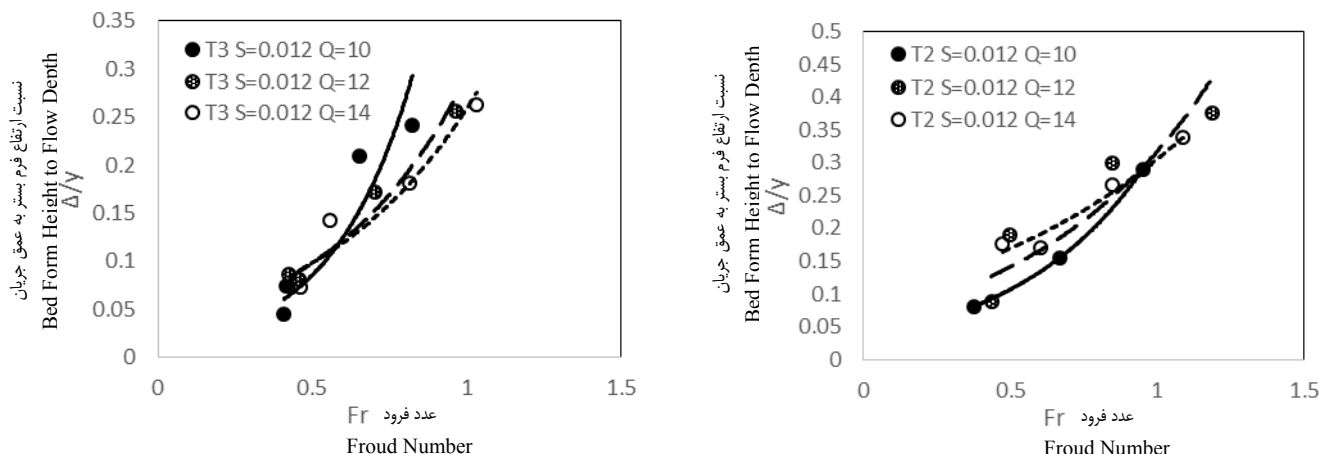
اما زمانیکه شیب را افزایش دادیم و به مقدار $0/012$ رسید (شکل (ب)) در این حالت اثر افزایش سرعت بر روی افزایش ارتفاع فرم بستر نسبت به افزایش y غلبه داشته و در حالت بدون تبدیل ارتفاع



شکل ۷-الف- اثر افزایش دبی بر ارتفاع فرم بستر در شیب ۰/۰۰۹

Figure 7-a- Effect of increment in discharge on bed form height in S=0.009





شکل ۷-ب- اثر افزایش دبی بر ارتفاع فرم بستر در شیب ۰/۰۱۲

Figure 7-a- Effect of increment in discharge on bed form height in $S=0.012$

زوایای تندتری برای تبدیل در نظر گرفته شود ممکن است حتی تبدیل نقش مانع بودن خود را از دست داده و به نوعی به علت افزایش تلاطم در ابتدا و در طول مقطع تنگ شده ممکن است رسوبات بیشتری را به پایین دست منتقل نماید و آبشستگی را افزایش دهد. در شیب ثابت ۰/۰۰۹ مشاهده شد که با افزایش دبی در هر یک از حالت‌های با تبدیل و بدون تبدیل، در یک عدد فرود ثابت ارتفاع فرم بستر کاهش پیدا کرد. زیرا با ثابت ماندن عدد فرود و افزایش دبی، عمق و سرعت هر دو افزایش پیدا کرد و با افزایش عمق آب پارامتر $\frac{\Delta}{y}$ کم شد. در شیب ۰/۰۱۲ اثر افزایش سرعت بر روی افزایش ارتفاع فرم بستر نسبت به افزایش y غلبه داشته و در حالت بدون تبدیل ارتفاع فرم بستر شروع به افزایش کرد. در تبدیل T1 ارتفاع فرم بستر با افزایش دبی زیاد شد. در تبدیل T2 این افزایش ارتفاع فرم ادامه یافته است. اما با رسیدن به تبدیل T3 با افزایش دبی حتی در شیب ۰/۰۱۲ اثر افزایش عمق آب همچنان بیشتر از تأثیر افزایش سرعت بود. به عبارت دیگر زاویه α نقش بازدارنده در مقابل جریان آب داشت.

نتیجه گیری کلی

به منظور بررسی اثر تبدیل‌های کاهش دهنده عرض در شرایط هیدرولیکی مختلف بر روی ارتفاع فرم بستر آزمایش‌هایی انجام شد و مقادیر اتلاف انرژی به کمک اندازه‌گیری عمق آب و محاسبه سرعت جریان در مقاطع مختلف محاسبه گردید. توپوگرافی بستر رسوبی در خط مرکزی کانال برداشت شد و میزان متوسط ارتفاع فرم بستر در محدوده تبدیل و پس از آن در هر آزمایش محاسبه گردید. از این بررسی‌ها چنین حاصل می‌شود که اولاً تبدیل‌های کاهش دهنده عرض می‌توانند به نوعی در کاهش آبشستگی، تشکیل فرم بستر و انتقال رسوبات به پایین دست نقش مؤثری داشته و به نوعی انتقال رسوبات را حدود ۱۵ الی ۲۰ درصد کم کنند زیرا مانند یک مانع در حرکت رسوبات عمل می‌کنند. در قسمت ورودی تبدیل با افزایش زاویه ورودی میزان اتلاف انرژی بیشتر می‌شود. دوماً اثر تبدیل‌ها بر روی کاهش عرض و همچنین کاهش انتقال رسوبات تا حد مشخصی می‌تواند مؤثر باشد. از نتایج تحلیل بر می‌آید که اگر چنانچه دبی بیش از ۱۴ لیتر بر ثانیه در کانال اعمال شود و یا

منابع

- 1- Bennett S.J., and Bridge J.S., 1995. The geometry and dynamics of low-relief bed forms in heterogeneous sediment in a laboratory channel, and their relationship to water flow and sediment transport, *Journal of Sediment Resources*. A65: 29-39.
- 2- Chegini A H N., and Pender G., 2012. Determination of smile size bedload transport and its related bedform under different uniform flow conditions, *WSEAS Transactions on Environment and Development*. 4(8): 158-167.
- 3- Coleman S. E., and Melville B. W. 1994. Bed-form development, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE. 120: 544-560.
- 4- Esmaili K., Kashefipoor M., Shafaei Bajestani M., 2009. The Effect of Bed Form on Roughness Coefficient in Unsteady Flows Using a Combined Numerical and Laboratory Method, *Journal of Water and Soil*, 23(3): 136-144. (in Persian with English Abstract).
- 5- Karim F., 1999. Bed-form geometry in sand-bed flows, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE. 125(12):1253-

- 1261.
- 6- Lajeunesse E., Malverti L. and Charu F. 2010. Bed load transport in turbulent flow at the grain scale: Experiments and modeling, *Journal of Geophys. Research.* 115(3): 145-159.
 - 7- Omid M., Mahdavi A., Naryanan R., 2003. Effect of bed-load transport on flow resistance in rigid boundary channels, IAHR Congress, Thessaloniki, Greece. 5:78-96.
 - 8- Simons D.B., and Richardson E.V., 1965. Resistance to flow in alluvial channels, Geological survey Professional paper, 422-J.
 - 9- Southardj B., and Boxjchwall A. 1973, Flume experiments on the transition from ripples to lower flat bed with increasing sand size. *Journal of sediment and Petrol.* 43(2): 193-217.
 - 10- Vanoni V. A., and Brooks N. H. 1957. Laboratory studies of the roughness and suspended load of alluvial streams, Sedimentation Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, Calif. 12(3):231-293.
 - 11- Van Rijn L. C., 1984. Sediment transport, Part 1: Bed-load transport, *Journal of HydraulicEngineering, ASCE.* 110(10),1431-1456.
 - 12- Van Rijn L. C., 1984. Sediment transport, Part 3: Bed forms and alluvial roughness, *Journal of HydraulicEngineering, ASCE.* 110(12), 1733-1754.
 - 13- Van Rijn L. C., 2007. Unified view of sediment transport by currents and waves. I: Initiation of motion, bed roughness and bed-load transport, *Journal of HydraulicEngineering, ASCE.* 133(6): 649-667.
 - 14- Venditti J. G., Church M. A., and Bennett S. J. 2005. Bed form initiation from a flat sand bed, *Jou. Geophys. Research, Vol 110:*40-92.
 - 15- Williams P. G., 1970. Flume width and water depth effects in sediment-transport experiments, USGS Professional paper, 562: 79-124.
 - 16- Wu W M. and S S Y., Wang 1999. Movable bed roughness in alluvial rivers, *Journal of HydraulicEngineering, ASCE.* 125(12): 1309-1312.

Study of Width Reduced Transition Effects on Ripple Bed Form Height in Various Hydraulic Conditions

E. Roshani^{1*} - A. Hussienzade Dalir² – D. Farsadizade³–F. Salmasi⁴

Received: 07-09-2015

Accepted: 20-07-2016

Introduction: In alluvial streams, water flow affects the sediment and transports them to the downstream constantly. In the meantime, bed forms will be created on stream bed with various dimensions and in different conditions. In this paper experiments have been done to study the influences of width reduced transitions on the height of ripple forms. These transitions are made with different angle 5, 10 and 15 degrees. Based on Van Rijn (7), when the sediment particles are smaller than 500 μm , if the flow velocity exceeds about 10 to 20 percent of critical velocity for starting the particle movement, small ripples grow on the bed surface. Ripple profiles have an asymmetric shape which has steep slope at the upstream and mild slope at the downstream. If the particles are bigger, flow velocity should be higher too in order to create taller ripples and in this situation a variety of bed form height and length will occur. There is a lot of research associated to bed form formation in alluvial beds like Van Rijn (4 and 7), Karim (2009), Omid and et al (2010), Chegini and Pender (2012) and Esmaili and et al (2009). But in none of them a width reduced transition has applied. The main part of this research is specified to the effects of width reduced transitions on the dimension of ripple bed form.

Methods and Materials: Experiments were done in the hydraulic laboratory of water engineering faculty of Tabriz University. The flume had a 6 m long, 50 cm height and 50 cm wide flume. The α (angle of transition at the beginning) was different. The sediment particles had $D_{50} = 0.86 \text{ mm}$ and $\rho_s = 2300 \text{ gr. cm}^{-3}$. The sediment flow was directly injected to the main flow from the upstream carefully. Water level was measured with scales installed on the glass wall of the flume and sediments were collected with the help of a sand trap located at the end of the flume. Experiments were classified in three discharges of 10, 12 and 14 L.S^{-1} and in 0, 0.006, 0.009, 0.012 and 0.015 slopes of the channel. π Buckingham method was used to obtain a dimensionless relationship such as $\frac{\Delta}{y} = f(F_r, \alpha)$. In which the Δ is the bed form height, y is the flow depth, F_r is the Froud number and the α is the transition angle at the beginning part of it. To compare the situation of having transitions with the absence of any transition, was studied as a witness type. Totally, 136 experiments were done.

Results and Discussion: The changes in the bed form height based on different Froud Numbers, are exhibited in a series of curves. Basically, transitions which shortened the flow width, in low discharges, the initial walls of these transitions act like a barrier and absorb a significant amount of flow intensity. Therefore, when there is no such a transition, it is accepted that the flow has more freedom and as a result bed form height will grow bigger. Naturally, if the reduction of the channel width was milder, the barrier effect on the flow would be smaller slight. In study of bed form shaping and its height, in low discharges (e. 10 L.S^{-1}) the flow intensity is not strong enough to conquer the barrier role of the transitions and however with increasing angle of the transition, the bed forms height in the transition area decreased. For the 12 L.S^{-1} discharge the flow intensity is more and the power of entering flow to the transition is higher and ripples with taller height exist. But the point is that the 12 lit. s^{-1} is still a transition stage, it means that when the discharge reaches to 14 L.S^{-1} , the bed form height has increased about 10 to 12 percent, comparing with no transitions. Another important issue is that, in any situation, transitions with $\alpha = 15^\circ$ have a strong barrier role against the flow and they always reduce the bed form height.

Conclusions: It can conclude that width reduced transitions can decrease scours slightly and therefore sediment transitions was reduced about 15 to 20 percent, compared with no transitions installed on the flume. The results show that if the discharge exceeds 14 L.S^{-1} or if steeper angles for the initial part of the transitions are used, the transition loses the barrier role and even they increases turbulences at the beginning and much more sediment would pass through the transition area due to higher velocities.

Keywords: Alluvial Beds, Entrance Transition Angle, Sediment Movements, Ripple

1, 2, 3 and 4- Ph.D. Graduate, Professor and Associated Professors Department of Water Engineering, Tabriz University

(*- Corresponding Author Email: Elhm.roshani@gmail.com)