Archive of SID

مطالعه آزمایشگاهی اثر غلظت رسوب بر نرخ تعادل آبراهه‌های ماسه‌ای

فرهاد ایمان‌شعار[1*]، یوسف حسن‌زاده[2] و محمدرضا مجدزاده طباطبائی[3]

۱*- نویسنده مسئول، دکتری عمران- مهندسی آب، دانشگاه تبریز E-mail: imanshoar@tabrizu.ac.ir

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

۳- استادیار دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۶ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱/۱۸

چکیده

فعالیت‌های انسانی و رخدادهای طبیعی سبب تغییر در نرخ دبی جریان و غلظت رسوب در رودخانه‌ها می‌گردند. رودخانه‌ها به طور طبیعی نسبت به این تغییرات واکنش نشان می‌دهند تا خود را با شرایط تحمیلی جدید به تعادل برسانند. معمولاً این تطابق تا آنجا پیش می‌رود که رودخانه به تعادل دینامیکی برسد. در این تحقیق سعی شده است تا با انجام یک مطالعه آزمایشگاهی، اثر غلظت رسوب بر نرخ تعادل آبراهه‌های ماسه‌ای بررسی شود. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که به ازای یک نرخ رسوب ثابت، ابعاد عمق پایدار متناظر با افزایش دبی جریان، افزایش یافته است در حالی‌که نرخ تغییرات عرض آبراهه آهنگ کندتری نسبت به نرخ تغییرات عمق دارد، همچنین به ازای یک دبی ثابت با افزایش نرخ رسوب تزریق شده، ابعاد عمق پایدار آبراهه کاهش و متناظر با آن عرض پایدار آبراهه افزایش یافته است.

کلید واژه‌ها: مطالعه آزمایشگاهی، غلظت رسوب، تعادل دینامیکی، رودخانه ماسه‌ای.

Experimental Study of Sediment Concentration Effect on Sand-bed Channels' Equilibrium Rate

F. Imanshoar[1], Y. Hassanzadeh[2] and M. R. Majdzadeh Tabatabai[3]

1- (Corresponding author) Ph.D., Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: imanshoar@tabrizu.ac.ir
2- Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3- Assistant Professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Abbaspour College of Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Received: 26Dec2012 Accepted: 7April2013

Abstract

Natural disturbances as well as man-made activities may cause an increase in sediment supply to rivers. Rivers naturally react to these changes to reach a new balance between imposed conditions. This accordance always lasted until the new dynamic equilibrium regains. The objective of this experimental study is to show the most remarkable features of the morphological responses of alluvial sand-bed channels reacting to changes in sediment supply. The observed results of this research indicate that for a constant rate of sediment concentration, the increase in flow discharge may be followed by channel section increasing. Also, channel widening trend with flow and sediment supply is steeper than no supply condition while increasing in sediment concentration increases the rate of change of widening. It was concluded that the stable channel width is greater with sediment supply than that of no supply conditions.

Keywords: Experimental study, Sediment concentration, Dynamical equilibrium, Sand-bed river.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

معروف است که رودخانه‌ها خون جاری در رگ‌های تمدن هستند. به عبارت دیگر، آب به عنوان یکی از حیاتی‌ترین نیازهای انسان، مبنای پیدایش، گسترش و زوال تمدن‌ها بوده است. از این-رو همواره در طول تاریخ، رودخانه‌ها کانون توجه و توسعه بوده و تمدن‌های کهن در اطراف رودخانه‌ها شکل گرفته است. افزایش جمعیت و پیشرفت بشر و در نتیجه بزرگ شدن جوامع، سبب شد که انسان سعی کند تا دامنه رفتار طبیعی رودخانه را پیش بینی و در گام بعدی تبعات آن را در احاطه خویش درآورد (ایمان‌شعار و همکاران، ۱۳۹۱).

رودخانه‌ها نسبت به تغییر شرایط جریان و یا مشخصات هندسی خود که به طور طبیعی یا مصنوعی (دخالت بشر) ایجاد می‌شود، حساسیت و واکنش نشان می‌دهند. به عبارت دیگر، هرگونه تغییر در یکی از خصوصیات رودخانه، تغییر در دیگر خصوصیات آن را به دنبال دارد. عمدتاً رفتار رودخانه‌ها در شرایط عادی و غیر عادی (وجود عوامل خارجی) رفتاری مشخص و متوازن است که عوامل مختلفی در تعیین نوع و شدت آن تأثیرگذار هستند. منظور از رفتار رودخانه‌ها همان واکنش و عملکردی است که رودخانه در شرایط مختلف از خود نشان می‌دهد.

مبحث ریخت‌شناسی[1] یا رفتارشناسی رودخانه‌ها به تعیین جهت و بزرگی عکس‌العمل یا رفتار رودخانه در شرایط مختلف می‌پردازد (ایمان‌شعار و همکاران، ۱۳۹۱؛ حسن‌زاده، ۱۳۸۹؛ گارد[2]، ۲۰۰۶).

رودخانه‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر ساختار سازندهای زمین‌شناسی منطقه، مشخصات هیدرولوژیکی حوضه آبریز و شرایط هیدرولیکی جریان، دارای رفتار مورفولوژیکی پویا هستند. خصوصیت تغییرپذیری این عوامل سبب شده تا بازه‌های مختلف رودخانه‌ها همواره در معرض تغییر و تحول باشند. به عبارت دیگر، تغییرات و جابجایی‌هایی که در اثر روند طبیعی و یا مصنوعی در مسیر و ابعاد هندسی رودخانه رخ می‌دهد، نتیجه منطقی عکس العمل سیستم رودخانه در جهت برقراری موازنه جدید است. شدت تغییرپذیری و زمان اثر این تغییرات بستگی به نوع و درجه تأثیر عوامل کنترل کننده دارد. تأثیر عواملی نظیر تغییرات اقلیمی و یا فرآیندهای زمین‌شناسی و تکتونیکی در کوتاه مدت ناچیز است، در حالی‌که تأثیر تغییرات دبی جریان و بار رسوبی قابل ملاحظه و حتّی در بسیاری از موارد ناگهانی خواهد بود (لاورنس[3]، ۲۰۰۹).

عوامل مؤثر بر ریخت شناسی رودخانه

همان طور که ذکر شد از طریق بررسی ریخت شناسی رودخانه می‌توان شرایط کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی آن را در آینده بهتر درک کرد. به بیان دیگر، ریخت شناسی رودخانه علمی است که در مورد ساختار رودخانه‌ها از جمله شکل پلان، ابعاد و شکل مقطع، فرم بستر و مشخصات نیمرخ طولی بحث می‌کند. رودخانه یک سیستم پیچیده و پویا است که عوامل متعددی در رفتار و شرایط حاکم بر هندسه آن مؤثر هستند. برخی از این عوامل به طور مستقیم و برخی دیگر نیز از طریق ارتباط با عوامل دیگر تأثیر گذار هستند. از جمله این عوامل می‌توان به دبی جریان (گارد، ۲۰۰۶؛ ولمن و براش[4]، ۱۹۶۱)، جنس، ابعاد و یکنواختی اندازه ذرات رسوب بستر و کناره‌ها (ایکدا و همکاران[5]، ۱۹۸۸؛ پارکر و همکاران[6]، ۲۰۰۸)، شیب طولی آبراهه (ولمن و براش، ۱۹۶۱)، بار غالب رسوبی (گارد، ۲۰۰۶؛ لاورنس، ۲۰۰۹؛ ایکدا و همکاران، ۱۹۸۸)، پوشش گیاهی کناره (هی و تورن[7]، ۱۹۸۶)، چسبندگی مصالح کناره (شام[8]، ۱۹۶۰)، زبری بستر (لاورنس، ۲۰۰۹)، شرایط زمین شناسی منطقه و دخالت‌های بشری (گارد، ۲۰۰۶؛ لاورنس، ۲۰۰۹) اشاره کرد. همچنین لین[9] (۱۹۹۵) اظهار داشته که تمامی عوامل فوق مستقل نبوده، بلکه برخی از آنها، کم یا زیاد، به عوامل دیگر وابسته هستند، به عنوان مثال ارتباط مابین شیب طولی و بار رسوبی با مقاومت بستر و کناره رودخانه در برابر جریان، بسیار قوی و پیچیده است.

هندسه هیدرولیکی و مبانی رژیم رودخانه

فعالیت‌های انسانی (احداث سدها، برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه‌ها، تغییر در کاربری اراضی حوضه و حتی شکست سد) و پدیده‌های طبیعی (وقوع سیلاب، بروز آتش سوزی در جنگلها و مراتع، فعالیت‌های آتشفشانی و رخداد خشکسالی) سبب تغییر در نرخ دبی جریان و غلظت (دبی) رسوب در رودخانه‌ها می-گردد (گارد، ۲۰۰۶؛ لاورنس، ۲۰۰۹؛ کوران و ویلکاک[10]، ۲۰۰۵؛ حسن‌زاده، ۲۰۱۲).

پیشینه علم هیدرولیک در آبراهه‌های آبرفتی حاکی از آن است که هندسه هیدرولیکی آبراهه متناظر با تغییرات دبی جریان و دبی رسوب (غلظت رسوب) تغییر می‌نماید. از طرف دیگر حتی به ازای یک دبی پایدار و ثابت، مورفولوژی آبراهه با تغییرات دبی رسوب دستخوش تغییر خواهد بود (لاورنس، ۲۰۰۹؛ ولمن و براش، ۱۹۶۱؛ کوران و ویلکاک، ۲۰۰۵).

مورفولوژی مجاری آبرفتی و به ویژه برقراری تعادل دینامیکی پایدار (رژیم) در یک رودخانه از موضوعات مهم و جذاب در مهندسی رودخانه است که تحقیقات زیادی در آن مورد انجام شده

1- Morphology
2- Garde
3- Lawrence

4- Wolman and Brush
5- Ikeda et al.
6- Parker et al.
7- Hey and Thorne
8- Schumm
9- Lane
10- Curran and Wilcock

www.SID.ir

Archive of SID

است. در یک آبراهه رژیم، دبی جریان، دبی رسوب، هندسه و شیب آبراهه در حال اندرکنش و تعادل با یکدیگر هستند و به عبارت دیگر یک آبراهه آبرفتی در طول زمان مقادیر عرض، عمق و شیب خود را بر اساس مقادیر دبی جریان و دبی رسوب تنظیم می‌کند. محققین با شیوه‌های مختلف مطالعاتی، به دنبال شناخت هرچه دقیق‌تر این فرآیند بوده‌اند. به دلیل پیچیدگی رفتاری جریان آب و رسوب در آبراهه‌ها و نبود اطلاعات لازم، تحلیل‌های تئوریک به تنهایی قادر به بررسی و بیان این پدیده‌های طبیعی نبوده است. همچنین به دلیل بالا بودن هزینه تحقیقات صحرایی و همچنین صرف زمان طولانی جهت انجام آن و به دلیل تأثیر عوامل طبیعی در حین برداشت اطلاعات، انجام تحقیقات صحرایی نیز مقرون به صرفه نمی‌باشد. از این رو امروزه اغلب تحقیقات به کمک دو روش شبیه سازی به صورت مدل ریاضی و مدل سازی با استفاده از امکانات آزمایشگاهی صورت می‌گیرند. لازم به ذکر است که هر یک از این مدل‌ها دارای محاسن و معایب خاص خود هستند (لاورنس، ۲۰۰۹؛ ایکدا، ۱۹۸۱).

مطالعه آزمایشگاهی

همان طور که ذکر شد یکی از بهترین راه‌های مطالعه هندسه هیدرولیکی در آبراهه‌های آبرفتی، انجام مطالعه آزمایشگاهی است. به طور مثال پیشتر محققینی از قبیل ولمن و براش (۱۹۶۱)، ایکیدا (۱۹۸۱)، جکسون و بسچتا[1] (۱۹۸۴)، ایکیدا و همکاران (۱۹۸۸)، دیپلاس[2] (۱۹۹۰)، بابائیان کوپائی و ولنتاین[3] (۱۹۹۸)، کوران و ویلکاک (۲۰۰۵)، طاهرشمسی و همکاران (۲۰۱۲) به منظور بررسی هندسه هیدرولیکی کانال‌های آبرفتی با استفاده از جریان-های ماندگار آزمایش‌هایی را صورت داده‌اند؛ ولیکن اغلب این آزمایش‌ها به صورت آب زلال انجام شده‌اند و اندک آزمایش‌های با تزریق رسوب نیز بر روی آبراهه‌های شنی متمرکز بوده‌اند و اثر غلظت رسوب بر نرخ تعادل آبراهه‌های ماسه‌ای کمتر مطالعه شده است.

از این رو در تحقیق حاضر سعی شده است تا قسمتی از کاستی‌های پژوهش‌های قبلی که در شرایط طبیعی رودخانه‌ها رخ می‌دهد، مورد بررسی قرار گیرند. برای این منظور یک سری آزمایش برای مدل سازی بازه‌ای مستقیم از یک رودخانه ماسه‌ای با استفاده از امکانات و تجهیزات مؤسسه تحقیقات منابع آب (آزمایشگاه هیدرولیک و محیط‌های آبی) برنامه‌ریزی و انجام شده است. فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده دارای طول ۱۲۰۰ سانتی‌متر، عرض ۷۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر بود (شکل ۱). کف فلوم از فلز ساخته شده و با ملات ماسه و سیمان پوشیده شده بود. همچنین جداره‌های شیشه‌ای فلوم برای ناظر فضای داخلی فلوم را قابل رویت کرده بود. به منظور تأمین آب مورد نیاز، از کانالی که در زیر فلوم تعبیه شده بود استفاده گردید. منبع تغذیه یک پمپ، با حداکثر ظرفیت۸۰۰ متر مکعب در ساعت می‌باشد. سیستم جریان به صورت مدار باز و کنترل دبی توسط یک شیرفلکه که بر روی لوله رانش سیستم پمپاژ قرار داشت، انجام می‌گرفت. اندازه-گیری دبی جریان توسط یک سرریز لبه تیز مثلثی با زاویه رأس 90^o صورت می‌گرفت. برای کاهش تلاطم ایجاد شده پس از عبور جریان از روی سرریز مثلثی، یک بخش آرام کننده جریان در ابتدای کانال طراحی شد. علاوه بر آن از یک توری فلزی نیز به عنوان آرام کننده ثانویه در ابتدای فلوم استفاده شد. جریان آب پس از عبور از ناحیه آرام کننده با عبور از ناحیه تبدیل متشکل از مصالح درشت دانه (ریپ رپ) وارد کانال اصلی می‌شد. به منظور توسعه یافتگی کامل جریان، در ابتدای فلوم آزمایشگاهی بازه‌ای به طول ۳ متر در نظر گرفته شد و در ادامه طول فلوم چهار مقطع A، B، C و D (به فواصل ۱ متری از هم) به منظور پایش تغییرات آبراهه در نظر گرفته شده بود.

شایان ذکر است برای انجام آزمایش‌ها از دو تیپ مصالح ماسه‌ای با قطر متوسط ۱/۲ و ۱/۶ میلی‌متر و انحراف معیار هندسی ذرات حداکثر ۱/۳ استفاده گردید. منحنی دانه‌بندی مصالح مذکور در شکل (۲) نشان داده شده است. با توجه به انحراف معیار هندسی ذرات به دست آمده می‌توان از اثر غیر یکنواختی ذرات صرفنظر کرد. همچنین با استفاده از انجام آزمایش برش مستقیم، زاویه اصطکاک داخلی مصالح فوق الذکر به ترتیب ۳۲/۸۷ و ۳۳/۵۸ درجه تعیین گردید.

در شروع هر یک از آزمایش‌ها به وسیله یک شابلون فلزی که بر روی یک ارابه قرار داشت، مقطع اولیه کانال به شکل نیم ذوزنقه در طول فلوم شکل می‌گرفت. واضح است که در این حالت، ترکیب دانه‌بندی کف و کناره کانال مشابه هم خواهند بود. شایان ذکر است برای ممانعت از مئاندری شدن کانال، سطح مقطع جریان به صورت مقطعی نیم ذوزنقه ایجاد می‌شد که طرف دیگر آنرا دیواره شیشه‌ای فلوم تشکیل می‌داد (ایکدا، ۱۹۸۱).

همچنین مقاطع اولیه شابلون‌ها با توجه به قطر متوسط مصالح ماسه‌ای و با استفاده از روابط رژیم ارائه شده توسط محققین پیشین به منظور طراحی کانال‌های پایدار خاکی محاسبه گردید. در طراحی این مقاطع اولیه نسبت عرض به عمق اولیه ۴ فرض شده است (ایمان‌شعار و همکاران، ۱۳۹۱؛ لین، ۱۹۵۵؛ جولین و وارگادالام[4]، ۱۹۹۵؛ پارکر[5]، ۱۹۷۸). به این نحو که برای مصالح ماسه‌ای با قطر متوسط ۱/۲ میلی‌متر مقطع اولیه مدل یک نیم ذوزنقه با شیب کناره 30^o، عرض کف ۱۷/۱ سانتی‌متر، عرض سطح آزاد ۳۲ سانتی‌متر و عمق ۸/۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. همچنین مشابه روند قبل برای مصالح ماسه‌ای با قطر متوسط ۱/۶ میلی‌متر مقطع اولیه مدل یک نیم ذوزنقه با شیب کناره 30^o،

1- Jackson and Beschta
2- Diplas
3- Babaeyan-Koopaei and Valentine
4- Julien and Wargadalam
5- Parker

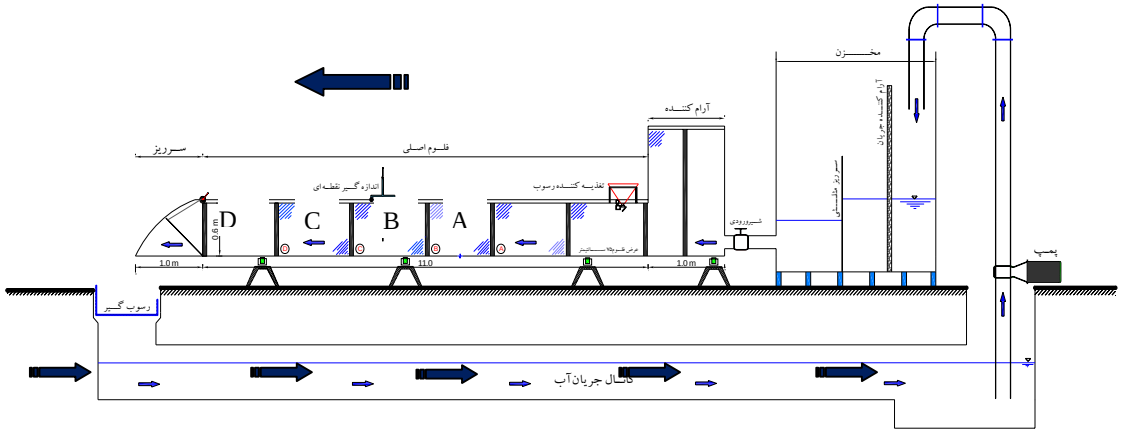
www.SID.ir

Archive of SID

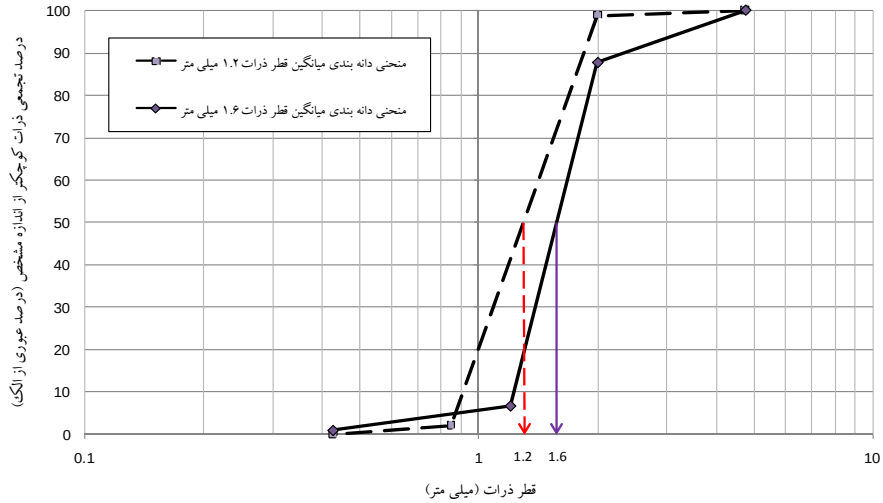
عرض کف ۲۱/۷ سانتی‌متر، عرض سطح آزاد ۴۰/۶ سانتی‌متر و عمق ۱۰/۹ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

بعد از انجام آزمایش‌های مقدماتی و کنترل مدل و تجهیزات آزمایشگاهی، آزمایش‌های اصلی در دو مرحله انجام شدند. در مرحله اول، شش آزمایش با جریان بدون رسوب (زلال) و در مرحله دوم، ۱۸ آزمایش با جریان همراه با تزریق رسوب، انجام گرفت. به عبارت دیگر، در این تحقیق مجموعاً ۲۴ آزمایش مطابق جدول (۱) طراحی و انجام گرفته است که تمامی آزمایش‌ها در شرایط جریان ماندگار و با اعمال مقادیر مختلف دبی جریان در حالت دبی تعادلی مقطع‌پر بوده‌اند. همچنین در هیچ یک از آزمایش‌های انجام شده اثری از پیچانی شدن آبراهه و تشکیل شکنج و تلماسه مشاهده نگردید.

به منظور امکان مطالعه اثر غلظت رسوب بر هندسه مقطع پایدار، با توجه به دانه‌ای بودن مصالح از یک دستگاه تغذیه کننده رسوب در ابتدای کانال استفاده شد که به روش خشک رسوبات را با نرخ تعیین شده به سیستم تزریق می‌کرد. این دستگاه به واسطه دریچه کشویی تعبیه شده در انتهای مخزن رسوب و موتور الکتریکی لرزان، قابلیت تنظیم کمی غلظت رسوبات خروجی به صورت مستمر و یکنواخت را دارا بود. با چرخش کلید دیمر میزان دور موتور الکتریکی لرزاننده و در نتیجه رسوبات خروجی قابل تغییر و تنظیم می‌باشد. نمای کلی دستگاه تزریق رسوب و سایر جزئیات آن در شکل (۳) نشان داده شده است. شایان ذکر است با توجه به اینکه در رودخانه‌های ماسه‌ای عمده منبع تأمین رسوب و شرایط حاکم بر رژیم رودخانه ناشی از فرسایش کف و کناره بازه‌های بالادست رودخانه است، لذا با هدف مدل سازی این روند، دانه‌بندی رسوبات تزریقی دقیقاً مشابه ترکیب دانه‌بندی کف و کناره کانال منظور می‌شد.



شکل ۱- تصویر شماتیک فلوم آزمایشگاهی (نمای جانبی)



شکل ۲- منحنی دانه‌بندی مصالح بستر و کناره

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- خلاصه تغییرات دبی جریان و رسوب

شماره آزمایش	D_{50} (mm)	Q (lit/s)	C (g/s)	شماره آزمایش	D_{50} (mm)	Q (lit/s)	C (g/s)
۱	۱/۲	۱۱/۰۹	۰	۱۳	۱/۶	۱۴/۱۷	۰
۲	۱/۲	۱۲/۰۷	۰	۱۴	۱/۶	۱۶	۰
۳	۱/۲	۱۲/۸۸	۰	۱۵	۱/۶	۱۷/۹۶	۰
۴	۱/۲	۱۱/۰۹	۲/۵	۱۶	۱/۶	۱۴/۱۷	۵
۵	۱/۲	۱۲/۰۷	۲/۵	۱۷	۱/۶	۱۶	۵
۶	۱/۲	۱۲/۸۸	۲/۵	۱۸	۱/۶	۱۷/۹۶	۵
۷	۱/۲	۱۱/۰۹	۵	۱۹	۱/۶	۱۴/۱۷	۱۰
۸	۱/۲	۱۲/۰۷	۵	۲۰	۱/۶	۱۶	۱۰
۹	۱/۲	۱۲/۸۸	۵	۲۱	۱/۶	۱۷/۹۶	۱۰
۱۰	۱/۲	۱۱/۰۹	۷/۵	۲۲	۱/۶	۱۴/۱۷	۱۵
۱۱	۱/۲	۱۲/۰۷	۷/۵	۲۳	۱/۶	۱۶	۱۵
۱۲	۱/۲	۱۲/۸۸	۷/۵	۲۴	۱/۶	۱۷/۹۶	۱۵

شکل ۳- نمایی از دستگاه تزریق رسوب و اجزای تشکیل دهنده آن

در طول آزمایش‌ها سعی شد تا جریان یکنواخت در آبراهه تنظیم گردد و برای برقراری عمق مورد نظر از سرریز نصب شده در انتهای فلوم استفاده شد و سطح آب در کانال در ابتدای هر آزمایش در حدود ۴ میلی‌متر پایین‌تر از لبه کناره تنظیم می‌شد. این عمل به دلیل جلوگیری از صعود آب به روی کناره کانال و برقراری شرایط مقطع پر در طول آزمایش‌ها صورت می‌گرفت. با ورود جریان به درون کانال اصلی (کانال ماسه‌ای) و شروع حرکت ذرات رسوب، زمان سنج به کار می‌افتاد.

تغییرات مقطع عرضی و تراز سطح آب در طول زمان آزمایش در مقاطع چهارگانه A، B، C و D با استفاده از یک دستگاه اندازه-گیر نقطه‌ای[1] برداشت می‌گردید. تمامی آزمایش‌ها تا زمان به شرایط پایدار (وضعیت تعادل دینامیکی) ادامه می‌یافت، یعنی زمانی که دیگر عرض کانال تغییر پیدا نمی‌کند و حمل رسوب از روی کناره متوقف شده است که این زمان از ۴ تا ۵ ساعت متفاوت بوده است. لازم به ذکر است محدوده عدد فرود جریان در تمامی آزمایش‌ها کوچکتر از ۰/۸ بوده و آبراهه قبل از تشکیل فرم‌های بستر به تعادل می‌رسید.

شایان ذکر است محققینی مانند ولمن و براش (۱۹۶۱)، ایکیدا (۱۹۸۱) و دیپلاس (۱۹۹۰)، برای تبیین شرایط تعادل دینامیکی کانال آبرفتی تعاریف مختلفی ارائه کرده‌اند که از آن جمله می‌توان

1- Point Gage

www.SID.ir

Archive of SID

به موارد زیر اشاره کرد: شرایط پایداری مقطع به صورت نرخ انتقال رسوب در بستر کانال ثابت شود؛ تغییرات مقطع کانال صفر شود؛ شیب پروفیل سطح آب ثابت شود؛ حمل رسوب از کناره صفر شود (مصالح کناره حرکت نکنند). در این تحقیق، با توجه به پیشینه مطالعات، به طور توأمان معیار حداکثر چهار درصد تغییرات نسبت به بازه زمانی قبل و ثابت شدن شیب سطح آب به عنوان معیار توقف انتخاب گردید.

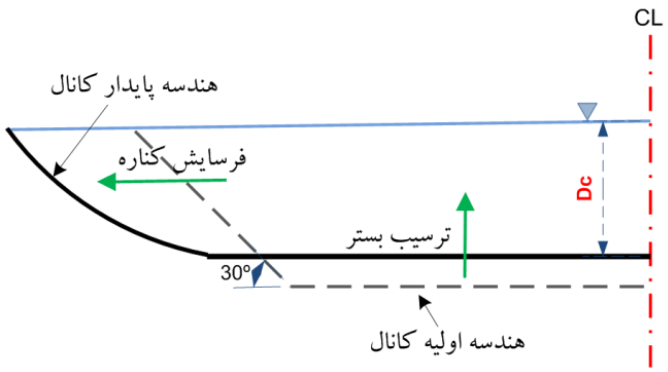
روند انجام آزمایش‌های همراه با تزریق رسوب کاملاً مشابه با آزمایش‌های جریان بدون رسوب (زلال) بود. از آنجایی که در انجام این آزمایش‌ها تزریق پیوسته رسوب پیش‌بینی شده بود، با ورود جریان آب به درون کانال اصلی (کانال ماسه‌ای) و پس از برقراری جریان یکنواخت و عمق مورد نظر، با شروع حرکت ذرات رسوب، تزریق رسوب از بالا دست کانال به وسیله دستگاه تزریق رسوب به صورت پیوسته و با نرخ معین (جدول ۱) همزمان با شروع جریان آب صورت می‌گرفت. شایان ذکر است دانه‌بندی رسوبات تزریقی مشابه مصالح کف و کناره کانال تنظیم می‌شد. همچنین، برای اطمینان از صحت عملکرد دستگاه و واسنجی آن، در ابتدای هر آزمایش میزان خروجی دستگاه پس از تنظیمات مورد نظر، چندین بار اندازه‌گیری می‌شد تا روند آزمایش مطابق برنامه ریزی انجام شده و بدون خطا در مقادیر ورودی صورت پذیرد.

نتایج و بحث

همان طور که ذکر شد تغییرات مقطع عرضی و تراز سطح آب در ۲۴ آزمایش مطابق مشخصات مندرج در جدول (۱)، در مقاطع چهارگانه با استفاده از دستگاه اندازه‌گیر نقطه‌ای و در فواصل زمانی نیم ساعته برداشت می‌گردید. ارتباط مابین دبی جریان و بار رسوبی با تغییرات عرض و عمق کانال پایدار، بسیار قوی و پیچیده است. فرآیند تغییر مورفولوژی آبراهه در حین آزمایش‌ها در قالب عریض شدن مقطع کانال و تعدیل عمق جریان و شیب سطح آب قابل مشاهده بود. روند کلی تغییرات مقاطع در شکل (۴) ارائه شده است. به این نحو که در تمامی آزمایش‌های صورت گرفته، روند تغییر هندسه مقاطع همراه با فرسایش کناره، ترازافزایی بستر و انتقال مقداری از رسوبات به پائین دست فلوم بوده است (شکل ۴).

در این مقاله به منظور خلاصه سازی فقط به ذکر نتایج برداشت شده در مقطع A بسنده شده است.

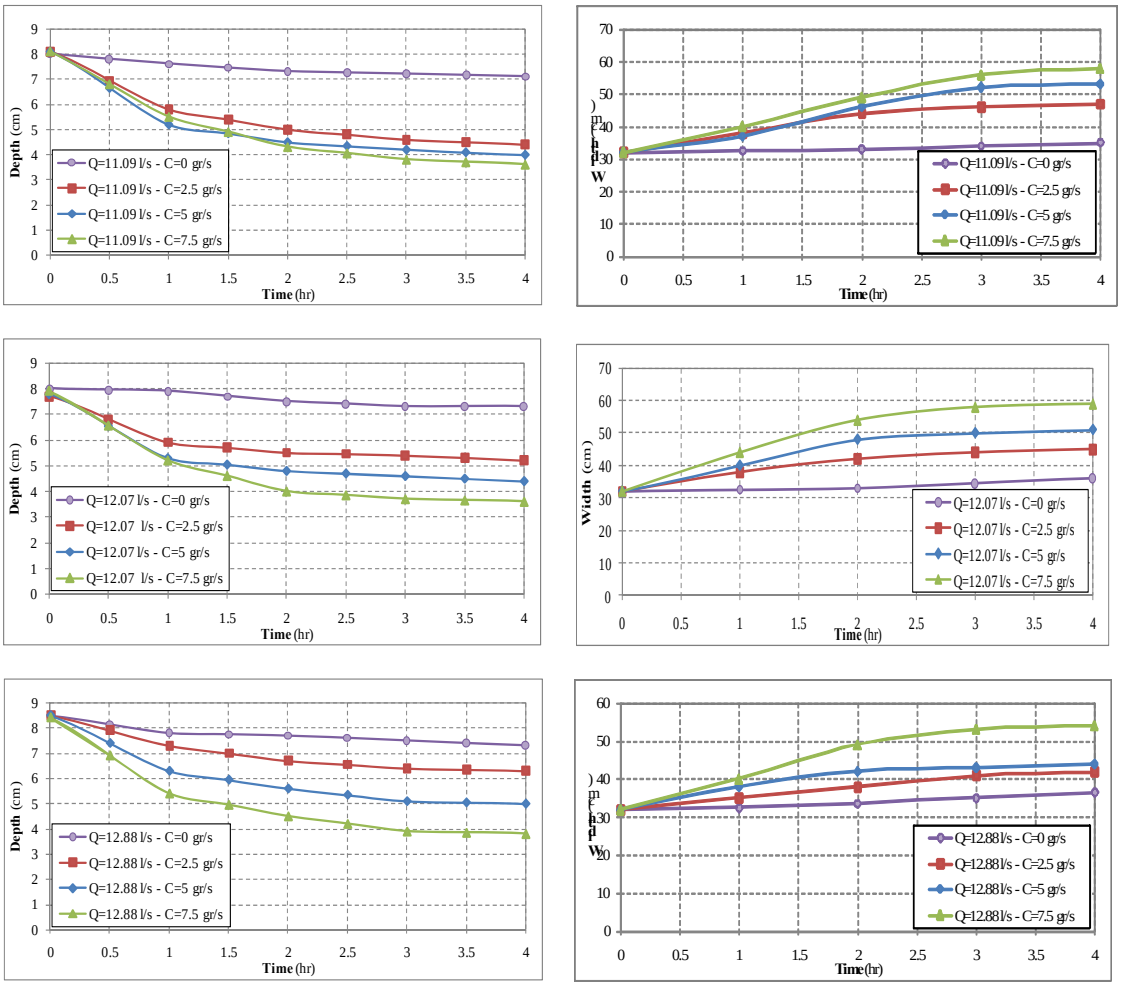
با توجه به اینکه در این تحقیق از دو تیپ مصالح ماسه‌ای استفاده شده بود، در نتیجه نرخ تعادل عرض و عمق آبراهه در مقطع A در حالت دانه بندی با قطر متوسط ۱/۲ میلی‌متر و ۱/۶ میلی‌متر به ترتیب در شکل‌های (۵) و (۶) ارائه شده است. همان طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود به ازای یک نرخ رسوب ثابت، ابعاد عمق پایدار متناظر با افزایش دبی جریان، افزایش یافته است در حالی که نرخ تغییرات عرض آبراهه آهنگ کندتری نسبت به نرخ تغییرات عمق دارد. همچنین به ازای یک دبی ثابت با افزایش نرخ رسوب تزریق شده، ابعاد عمق پایدار آبراهه کاهش و متناظر با آن عرض پایدار آبراهه افزایش یافته است. این امر مؤید مشاهدات صحرائی لین (۱۹۵۵) است به طوری که وی بیان داشته اگر نرخ تأمین رسوب در رودخانه‌ها افزایش یابد و اندازه رسوبات ورودی بدون تغییر باقی بمانند، در مدت زمان طولانی مشاهده می‌گردد که در بستر رودخانه تراز افزایی رخ می‌دهد. همچنین نتایج آزمایشگاهی نشانگر این امر بود که با افزایش نرخ تزریق رسوب در آبراهه نرخ تغییرات عرض و عمق نسبت به زمان در مقایسه با حالت بدون رسوب آهنگ سریعتری پیدا می‌کنند. به عبارت دیگر پاسخ بستر کانال به تغییر نرخ تأمین رسوب، وابسته به نرخ جریان، اندازه ذرات و نرخ انتقال رسوبات تأمین شده است. این پارامترها در کوتاه مدت تمایل زیادی به تغییر دارند تا نهایتاً آبراهه شیب و هندسه خود را با شرایط جدید متعادل نماید. همچنین در شکل (۷) تغییرات شیب کانال پایدار نسبت به تغییرات دبی جریان و رسوب نمایش داده شده است. همان طور که در این شکل نیز مشاهده می‌شود به طور کلی به ازای یک نرخ رسوب ثابت، مقادیر شیب پایدار متناظر با افزایش دبی جریان، کاهش یافته است. همچنین به ازای یک دبی ثابت با افزایش نرخ رسوب تزریق شده، مقادیر شیب پایدار آبراهه افزایش پیدا کرده است.



شکل ٤- وضعیت شماتیک تغییرات مقطع عرضی

www.SID.ir

Archive of SID

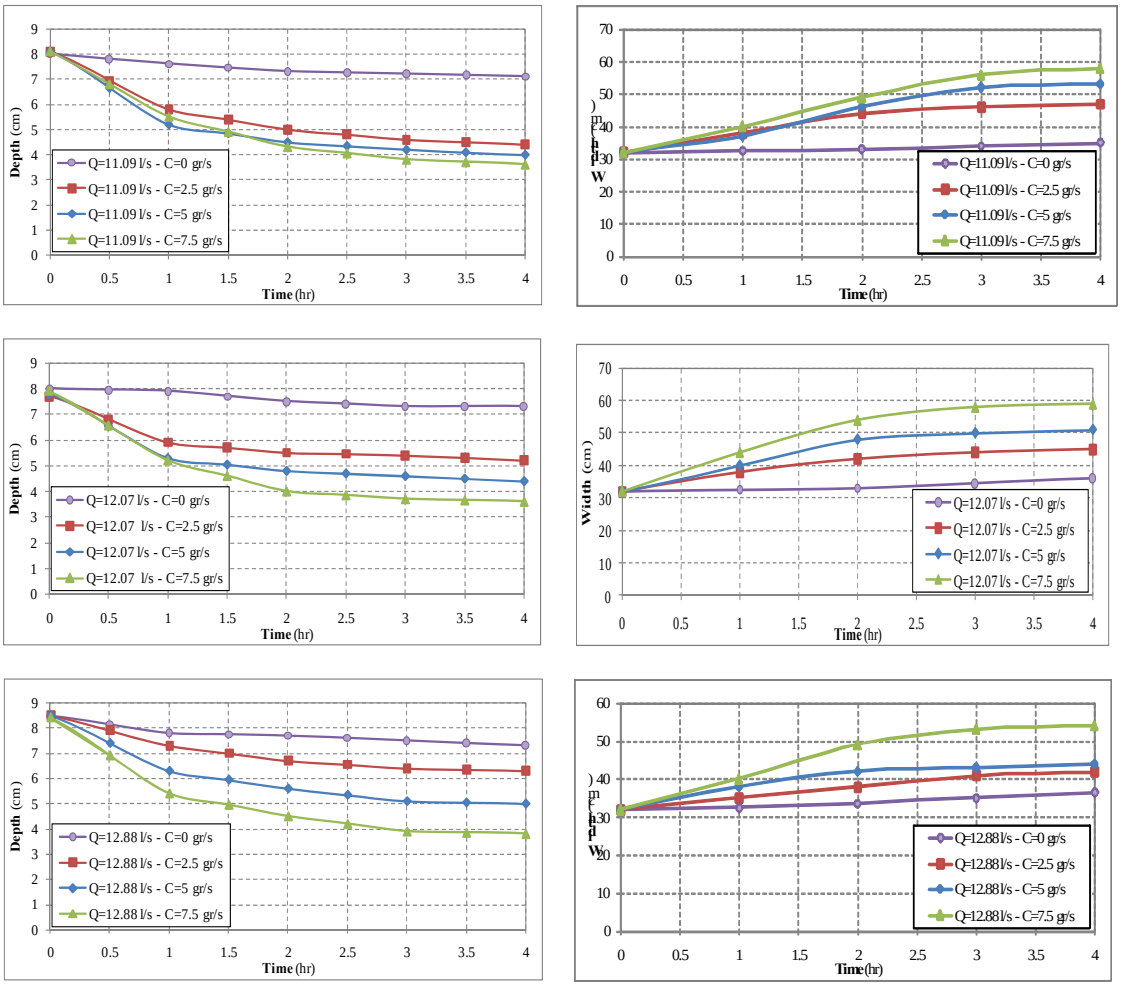


شکل ۵- نرخ تعادل عرض و عمق آبراهه در مقطع A در حالت دانه بندی با قطر متوسط ۱/۲ میلی‌متر

با توجه به اینکه در این تحقیق از دو تیپ مصالح ماسه‌ای استفاده شده بود، در نتیجه نرخ تعادل عرض و عمق آبراهه در مقطع A در حالت دانه بندی با قطر متوسط ۱/۲ میلی‌متر و ۱/۶ میلی‌متر به ترتیب در شکل‌های (۵) و (۶) ارائه شده است. همان طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود به ازای یک نرخ رسوب ثابت، ابعاد عمق پایدار متناظر با افزایش دبی جریان، افزایش یافته است در حالی که نرخ تغییرات عرض آبراهه آهنگ کندتری نسبت به نرخ تغییرات عمق دارد. همچنین به ازای یک دبی ثابت با افزایش نرخ رسوب تزریق شده، ابعاد عمق پایدار آبراهه کاهش و متناظر با آن عرض پایدار آبراهه افزایش یافته است. این امر مؤید مشاهدات صحرائی لین (۱۹۵۵) است به طوری که وی بیان داشته اگر نرخ تأمین رسوب در رودخانه‌ها افزایش یابد و اندازه رسوبات ورودی بدون تغییر باقی بمانند، در مدت زمان طولانی مشاهده می‌گردد که در بستر رودخانه تراز افزایی رخ می‌دهد. همچنین نتایج آزمایشگاهی نشانگر این امر بود که با افزایش نرخ تزریق رسوب در آبراهه نرخ تغییرات عرض و عمق نسبت به زمان در مقایسه با حالت بدون رسوب آهنگ سریعتری پیدا می‌کنند. به عبارت دیگر پاسخ بستر کانال به تغییر نرخ تأمین رسوب، وابسته به نرخ جریان، اندازه ذرات و نرخ انتقال رسوبات تأمین شده است. این پارامترها در کوتاه مدت تمایل زیادی به تغییر دارند تا نهایتاً آبراهه شیب و هندسه خود را با شرایط جدید متعادل نماید. همچنین در شکل (۷) تغییرات شیب کانال پایدار نسبت به تغییرات دبی جریان و رسوب نمایش داده شده است. همان طور که در این شکل نیز مشاهده می‌شود به طور کلی به ازای یک نرخ رسوب ثابت، مقادیر شیب پایدار متناظر با افزایش دبی جریان، کاهش

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٦- نرخ تعادل عرض و عمق آبراهه در مقطع A در حالت دانه بندی با قطر متوسط ۱/٦ میلی‌متر

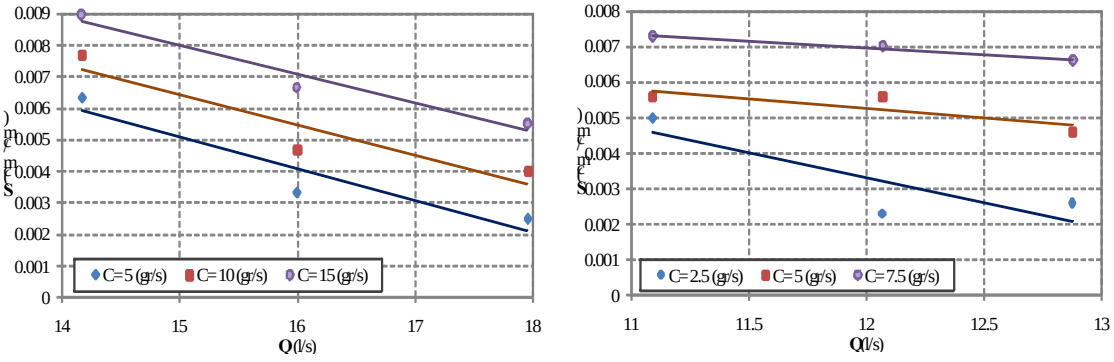
یافته است. همچنین به ازای یک دبی ثابت با افزایش نرخ رسوب تزریق شده، مقادیر شیب پایدار آبراهه افزایش پیدا کرده است.

به لحاظ تحلیلی چون مخلوط آب و رسوب نسبت به آب زلال دارای وزن حجمی بیشتری است، در نتیجه باعث ایجاد تنش برشی بیشتری در مرزهای آبراهه می‌گردد. لذا مقطع پایدار آبراهه در حالت مخلوط آب و رسوب نسبت به مشاهدات آزمایش‌های آب زلال، عریض‌تر بوده و با ترازافزایی مواجه خواهد بود. مقطع پایدار می‌تواند در بستر انتقال رسوب داشته باشد. در انتهای آزمایش‌ها و پس از زمان پایداری، این موضوع در تمامی آزمایش‌ها مشاهده شد. به این نحو که در حالت مقطع پایدار کناره متعادل بوده و هیچ انتقال رسوبی نداشت، ولیکن در بستر کانال انتقال رسوب به وضوح قابل مشاهده بود. این مشاهدات مؤید مشاهدات صحرایی و نتایجی آزمایشگاهی است که قبلاً توسط سایر محققین در مورد کانال‌های پایدار و مکانیزم انتقال رسوب ارائه شده بودند.

لازم به ذکر است با توجه به اینکه در تمامی آزمایش‌های انجام شده از دبی تعادلی در حالت مقطع پر استفاده می‌شد و عمق جریان نسبت به ابعاد مقطع به قدر کافی بزرگ بود، لذا از اثر کشش سطحی می‌توان صرفنظر کرد. همچنین با توجه به محدوده غلظت رسوبات تزریق شده به جریان، مخلوط آب و رسوب به هیچ وجه به حالت جریان غلیظ تبدیل نمی‌شد و در نتیجه لزجت جریان تقریباً ثابت باقی می‌ماند.

www.SID.ir

Archive of SID



(ب) (الف)

شکل ۷- تغییرات شیب کانال پایدار نسبت به تغییرات دبی جریان و رسوب، الف) D_{50}=۱/۲ mm، ب) D_{50}=۱/۶ mm

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایشگاهی این مطالعه نشانگر این امر بود که تزریق نرخ ثابت ذرات رسوب هم اندازه مصالح بستر و کناره در طول زمان، سبب تراز افزایی و افزایش شیب بستر و در نتیجه افزایش تنش برشی برای ذرات رسوب تحمیل شده به کانال می‌گردد. این روند تا برقراری شرایط و شیب تعادل ادامه پیدا می‌کند. همچنین نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش نرخ تزریق رسوب در آبراهه نرخ تغییرات عرض و عمق نسبت به زمان در مقایسه با حالت بدون رسوب آهنگ سریعتری پیدا می‌کنند. به عبارت دیگر پاسخ بستر کانال به تغییر نرخ تأمین رسوب، وابسته به نرخ جریان، توزیع اندازه ذرات و نرخ انتقال رسوبات تأمین شده است. این پارامترها در کوتاه مدت تمایل زیادی به تغییر دارند تا نهایتاً آبراهه شیب و هندسه خود را با شرایط جدید متعادل نماید.

مقایسه کلی نمودارهای حالت آب زلال و حالت‌های مختلف تزریق رسوب مؤید این امر است که نرخ تراز افزایی بستر و فرسایش کناره (تعریض مقطع) در حالت همراه با تزریق رسوب به طور قابل ملاحظه افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر در حالت همراه با تزریق رسوب، آبراهه عریض‌تر از حالت جریان آب زلال خواهد بود و تراز کف بستر نیز بالاتر از حالت آب زلال تعدیل می‌گردد.

سپاسگزاری

این مطالعه آزمایشگاهی در سایه حمایت سخت افزاری مؤسسه تحقیقات منابع آب (پژوهشکده هیدرولیک و محیط‌های آبی) انجام شده است که به این طریق نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از این مجموعه اعلام می‌نمایند.

منابع

۱. ایمان‌شعار، ف.، حسن‌زاده، ی.، مجدزاده طباطبائی، م. و ا. جعفری. ۱۳۹۱. مطالعه آزمایشگاهی اثر غلظت رسوب بر نرخ تعادل آبراهه‌های ماسه‌ای. مجموعه مقالات یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه ارومیه.

۲. حسن‌زاده، ی. ۱۳۸۹. هیدرولیک رسوب مخازن، انتشارات کمیته ملی سدهای بزرگ ایران. نشریه شماره ۸۹.

3. Babaeyan-Koopaei, K. and E. M. Valentine. 1998. Bank profiles of self-formed straight stable channels. Proceeding of the third international conference on Hydroscience and Engineering, Cottbus, Berlin, Germany.

4. Curran, J. C. and P. R. Wilcock. 2005. Effect of sand supply on transport rates in gravel-bed channels. Journal of Hydraulic Engineering, 131(11): 961-967.

5. Diplas, P. 1990. Characteristics of self-formed straight channels. Journal of Hydraulic Engineering, 116(5): 707-727.

www.SID.ir

Archive of SID

6. Garde, R. G. 2006. River morphology. New International Publishers. New Delhi, CHP 10.

7. Hassanzadeh. Y. 2012. Hydraulics of sediment transport in hydrodynamic: Theory and Model. Edited by Jinhai Zheng, Intech Publishing, Croatia.

8. Hey, R. D. and C. R. Thorne. 1986. Stable channels with mobile gravel beds. Journal of Hydraulic Engineering, 112(6): 671-689.

9. Ikeda, S. 1981. Self -formed straight channels in sandy beds. Journal of the Hydraulic Division, 107(4): 389-402.

10. Ikeda, S., Parker, G. and Y. Kimura. 1988. Stable width and depth of straight gravel rivers with heterogeneous bed materials. Water Resource Research, 24(5): 713-722.

11. Jackson, W. L. and R. L. Beschta. 1984. Influences of increased sand delivery on the morphology of sand and gravel channels. Water Resources Bulletin, 20(4): 527-533.
12. Julien, P. Y. and J. Wargadalam. 1995. Stable width and depth of straight gravel rivers with heterogeneous bed materials. Water Resources Research, 24: 713-722.

13. Lane, E. W. 1985. Design of stable channels. Transactions, ASCE, 120: 1234-1260.

14. Lawrence, S. D. 2009. Fluvial hydraulics. Oxford University Press. CHP 2.

15. Parker, C., Simon, A. and C. R. Thorne. 2008. The effects of variability in bank material properties on riverbank stability: Goodwin Creek, Mississippi. Journal of Geomorphology, 101: 533-543.

16. Parker, G. 1978. Self-formed straight rivers with equilibrium banks and mobile bed: Part 1. The sand-silt river. Journal of Fluid Mechanic, 89(1): 109-125.

17. Schumm, S. A. 1960. The shape of alluvial channels in relation to sediment type. Geological Survey Professional Paper, No. 352-B.

18. Taher-shamsi, A., Majdzadeh Tabatabai, M. R. and R. Shirkhani. 2012. An evaluation model of artificial neural network to predict stable width in gravel-bed rivers. International Journal of Environmental Science and Technology, 9(2): 333-342.

19. Wolman, M. G. and L. M. Brush. 1961. Factors controlling the size and shape of stream channels in coarse noncohesive sands. Geological Survey Professional Paper 282-G, Washington, USA.

www.SID.ir