



دانشگاه گورنر و منابع طبیعی گوات

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره ششم، ۱۳۹۳
<http://jwsc.gau.ac.ir>

گزارش کوتاه علمی

تحلیل کانال‌های آبرفتی پایدار با استفاده از روش‌های تجربی و تحلیلی

غلامرضا عزیزیان^۱، * رضا میر^۲ و رضا بزرگمهر^۲

^۱استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان،

^۲آکادمی‌ارشد گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۲۹

چکیده

بهبود پیش‌بینی ابعاد کانال و شکل محتمل بستر به طوری که بتواند دبی مورد نظر و بار بستر مربوطه را بدون تغییر قابل ملاحظه شکل و ابعاد کانال در طول عمر طراحی آن انتقال دهد، هم‌چنان یک دغدغه برای مهندسان هیدرولیک و ژئومرفولوژیست‌ها است. به دلیل پیچیدگی و دینامیکی بودن پدیده از معیارهای تجربی، نیمه‌تجربی و آماری که دقت مطلوبی ندارند برای طراحی و تعیین ابعاد کانال‌های پایدار رژیمی استفاده می‌شود. در این پژوهش به پیش‌بینی ابعاد پایدار کانال توسط مدل ریاضی GSTARS4.0 و روش‌های پیشینه شدن انتقال رسوب وایت و همکاران، برونلی و ون‌راین پرداخته و نتایج حاصل با نتایج آزمایشگاهی و روابط تجربی مقایسه شده است. مدل ریاضی GSTARS4.0 که براساس کمینه شدن قدرت جریان عمل می‌کند در تخمین پارامتر عرض و عمق با نسبت‌های به ترتیب ۰/۹۵ و ۱ دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها داشته است. در تخمین غلظت رسوب، مقادیر به دست آمده از روش برونلی نسبت به دیگر روش‌های نام‌برده مطابقت بیشتری با مقادیر آزمایشگاهی داشته است.

واژه‌های کلیدی: رژیم کانال، تئوری حدنهایت، روابط تجربی، غلظت رسوب

*مسئول مکاتبه: mir_reza62@yahoo.com

مقدمه

تئوری‌های تجربی و نیمه‌تجربی فراوانی در رابطه با تعیین ابعاد کانال‌های رژیم‌ی ارایه شده که همواره نتایج آن‌ها مورد تردید بوده است. روش‌های ارایه شده برای طراحی کانال‌های پایدار را می‌توان به دو دسته تئوری‌های رژیم و روش‌های تحلیلی تقسیم نمود. با توجه به اهمیت موضوع مورد بحث، تاکنون چندین مدل تحلیلی در این رابطه ارایه شده است و از نظر استفاده از روابط بهینه‌سازی برای برقراری ارتباط منطقی بین مجهول‌ها به دو صورت با مسأله برخورد شده که برتری آن‌ها بر یکدیگر همیشه مورد بحث بوده است: الف- فرضیه حداقل توان جریان ب- فرضیه حداکثر ظرفیت انتقال رسوبی. در تئوری‌های حد نهایت معادله‌های انتقال رسوب، مقاومت و پیوستگی را با رابطه ضروری چهارمی برای تعیین و پیش‌بینی هندسه و شرایط پایدار کانال ترکیب می‌نمایند که معادله چهارم براساس بیشینه یا کمینه کردن یک پارامتر بیان می‌شود (هیدرا، ۲۰۰۲).

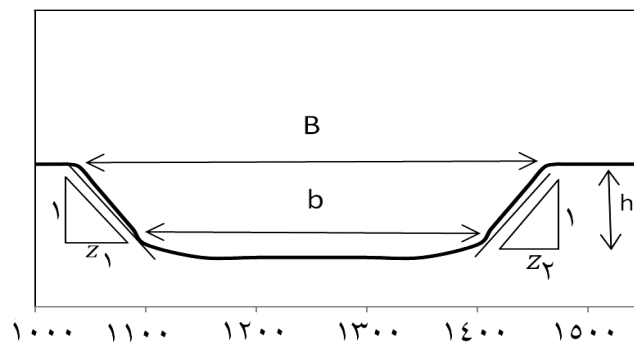
در این پژوهش فرضیه کمینه شدن توان جریان، فرضیه بیشینه شدن ظرفیت انتقال رسوب و روابط تجربی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. مدل ریاضی GSTARS، روش رژیم نیمه‌تجربی ون‌راین، برونلی و وایت و همکاران در قالب فرضیه بیشینه شدن انتقال رسوب و روابط تجربی پژوهشگران مختلف با یکدیگر مقایسه گردیده که مقایسه نسبی روش‌های موجود را فراهم می‌نماید و از طرفی نتایج حاصل، با نتایج آزمایشگاهی پژوهشگرانی مانند شکیر (۱۹۹۲)، بابائیان- کوپایی و ولتاین (۱۹۹۵) و بنسون و همکاران (۱۹۹۷) که به بررسی ظرفیت انتقال رسوب و هندسه پایدار کانال‌ها پرداخته‌اند، نیز مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها

کار آزمایشگاهی انجام شده توسط هیدرا (۲۰۰۲) که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است، به شرح زیر می‌باشد. کانالی به طول ۱۸ متر که دارای بدنه و کف فرسایش‌پذیر تا عمق ۰/۶ متر از جنس ماسه با قطر متوسط یک میلی‌متر ($D_{50} \approx 1$) و سرریزهای قابل تنظیم برای کنترل سطح آب درون کانال می‌باشد. آزمایش‌های انجام شده بر روی کانال نام‌برده شامل دو سری می‌باشند که با مقاطع عرضی اولیه و دبی جریان مختلف صورت پذیرفته‌اند. مقاطع عرضی اولیه براساس دبی جریان، شیب کانال و دانه‌بندی مصالح توسط روش وایت و همکاران (WBP)^۱

1- White, Bettess and Paris

پیش‌بینی گردیده و سپس با استفاده از تجارب دیگر پژوهشگران به شرایط پایدار نهایی نزدیک شده است تا در زمان کم‌تری به پایداری برسند که کاهش تغییرات عرض کانال به کم‌تر از ۲ درصد در هر ساعت، معیار پایداری کانال‌ها بوده است. شیب بستر سری اول، $0/0017$ و شامل ۱۲ آزمایش با دبی $6-2/5$ لیتر بر ثانیه و شیب بستر سری دوم، $0/00214$ و شامل ۱۲ آزمایش با دبی $6-2$ لیتر بر ثانیه بوده است. در شکل ۱ پارامترهای هندسی مقطع عرضی کانال نشان داده شده است.



شکل ۱- نمایی از یک مقطع عرضی و پارامترهای هندسی آن.

تئوری‌های رژیم (روابط تجربی): این روابط براساس داده‌های به‌دست آمده از رودخانه‌ها و کانال‌های مصنوعی استوار است. کندی اولین رابطه رژیم را یک قرن پیش در سال ۱۸۹۵ ارائه کرد. روابط تجربی رژیم لیندلی، لیزی، بلنچ و سیمون-آلبرتسون از مهم‌ترین روابطی است که شناخته شده است (هیدرا، ۲۰۰۲). این معادله‌ها که توابعی توان‌دار هستند فقط برای موقعیت‌های مشابه محل جمع‌آوری داده‌ها قابل کاربرد است. از طرفی، توان این معادله‌ها قابل تأمل است. مثلاً مقدار توان دبی در معادله تعیین عرض کانال (B)، برای رودخانه‌های با دبی و مشخصه‌های رسوب متفاوت تقریباً $0/5$ است و در معادله تعیین عمق این توان در بازه $0/43-0/27$ قرار دارد (جدول ۱).

جدول ۱- خلاصه‌ای از معادله‌های رژیم تجربی (هیدرا، ۲۰۰۲).

Source	D ₅₀ (mm)	B	h	S
[1a] Leopold, et al., 1953	-	$\sim Q_{tr}^{0.49} \text{ to } 0.56$	$\sim Q_{tr}^{0.37} \text{ to } 0.45$	$\sim Q_{tr}^{(-0.19) \text{ to } (-0.50)}$
[2a] Leopold, et al., 1956	0.7 to 5.	$5.0Q_{tr}^{0.60}$	$0.10Q_{tr}^{0.28}$	$\sim Q_{tr}^{0.667}$
[3a] Nixon, 1959	0.1 to 0.6	$1.67Q_{tr}^{0.50}$	$0.55Q_{tr}^{0.33}$	$\sim Q_{tr}^{0.1}$
[4a] Simons & Albertson, 1960	0.03 to 0.8	$2.5Q_{tr}^{0.51}$	$R = 0.43Q_{tr}^{0.36}$	$0.00675Q_{tr}^{0.40}$
[5a] Lacey, 1929	0.1 to 0.4	$2.67Q_{tr}^{0.30}$	$0.47Q_{tr}^{0.33}$	$0.00039f^{1.3}Q_{tr}^{0.11}$
[6a] Lapturev, 1969	-	$2.58Q_{tr}^{0.50}$	$0.52Q_{tr}^{0.33}$	$\sim Q_{tr}^{0.10}$

روش‌های تئوری حدنهایت

کمینه شدن قدرت جریان: مدل ریاضی GSTARS با کمک گرفتن از مفهوم لوله‌های جریان می‌تواند به صورت شبه‌دو بعدی تغییرهای تراز بستر رودخانه را در دو جهت طولی و عرضی شبیه‌سازی نماید. در GSTARS، تئوری کمینه کردن قدرت جریان برای به دست آوردن معادله مستقل چهارم به کار رفته است. داده‌های ورودی مورد نیاز مدل عبارتند از داده‌های هندسی، داده‌های هیدرولیکی و داده‌های رسوبی. در واسنجی هیدرولیک جریان نتایج پروفیل سطح آب محاسباتی با مقادیر واقعی رقوم سطح آب اندازه‌گیری و مقایسه گردید. نتایج این مقایسه بیانگر مطابقت رقوم سطح آب محاسباتی و مشاهداتی به ازای ضریب زبری مانینگ ۰/۰۱۴ است. در واسنجی هیدرولیک رسوب، تغییرهای مقطع عرضی کانال آزمایشگاهی به ازای روابط انتقال رسوب مختلف موجود در مدل ریاضی GSTARS شبیه‌سازی شده و با مقطع عرضی آزمایشگاهی مقایسه گردید. در مرحله واسنجی سعی شد تا مدل ابعاد مقطع عرضی را با انطباق هرچه بیشتر با ابعاد آزمایشگاه پیش‌بینی نماید. در مرحله صحت‌سنجی، آزمایش‌هایی که در واسنجی مدل به کار نرفته بود استفاده گردید که دقت قابل‌قبولی را نشان داد.

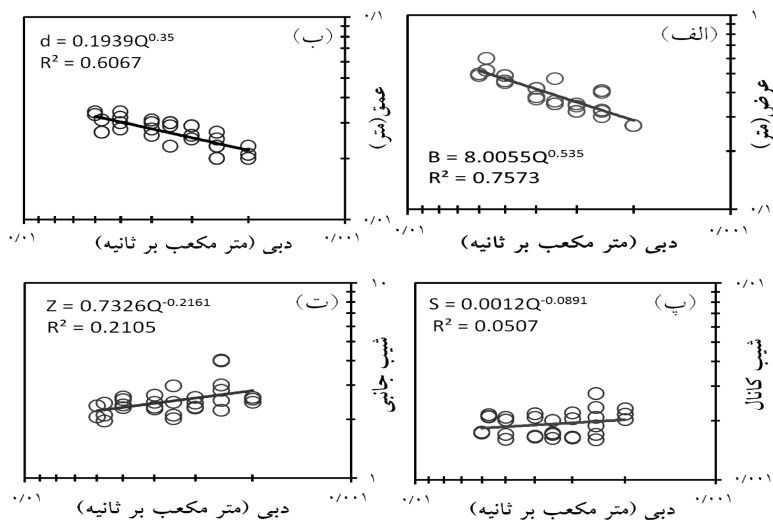
بیشینه شدن انتقال رسوب: براساس این تئوری کانال با دانه‌بندی رسوب، دبی و شیب مشخص هنگامی به حالت تعادل (عرض و عمق) می‌رسد که انتقال رسوب به بیش‌ترین مقدار خود برسد. روش‌های وایت و همکاران، برونلی و ون‌راین براساس بیشینه شدن انتقال رسوب توسط یک برنامه رایانه‌ای به زبان فرترن پیاده‌سازی شده‌اند. روش وایت و همکاران (۱۹۸۲)، برای کانال‌های پایدار مستقیم براساس رابطه انتقال رسوب ایکرز- وایت و رابطه مقاومت وایت و همکاران (۱۹۸۲)

استوار است. در این پژوهش معادله‌های انتقال رسوب و مقاومت برونلی (۱۹۸۳) و معادله‌های انتقال رسوب و مقاومت ونراین (۱۹۸۴a) و ونراین (۱۹۸۴b) براساس مفهوم بیشینه شدن انتقال رسوب برای محاسبه غلظت رسوب، عرض و عمق کانال پایدار به کار رفته است. برای پیاده‌سازی این روش‌ها از متد ارایه شده توسط وایت و همکاران (۱۹۸۲) استفاده شده که در آن متغیرهای مستقل شامل دانه‌بندی رسوب، شیب کانال S ، عرض پایین b ، عمق اولیه d ، شیب جانبی Z و دبی Q متغیرهای ورودی هستند. متغیرهای خروجی هندسه پایدار (عرض و عمق) و حداکثر غلظت رسوب کانال می‌باشد.

بحث و نتایج

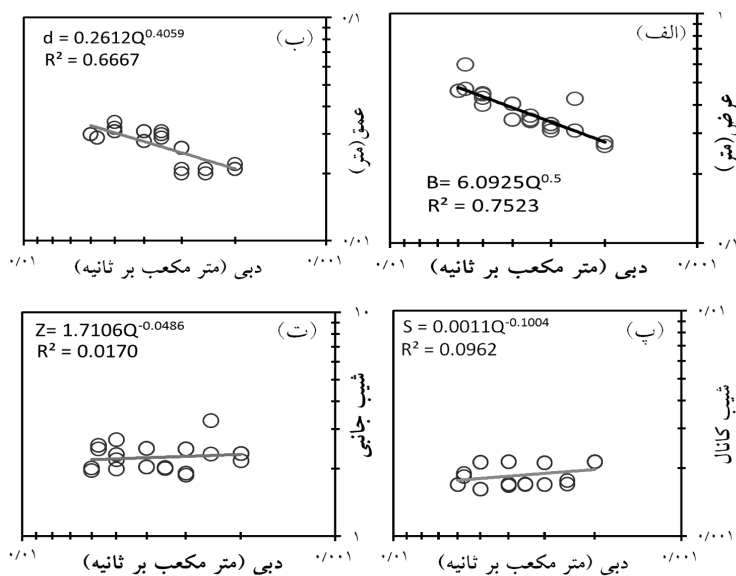
مقایسه نتایج به دست آمده از مدل **GSTARS** و آزمایشگاه با معادله‌های رژیم: ارتباط اطلاعات موجود با روابط تواندار ($Y=CX^m$) تجربی به صورت متغیرهای وابسته در مقابل دبی جریان در شکل‌های ۲ و ۳ رسم شده است. مشاهده گردید که توان معادله‌های عرض-دبی برای اطلاعات آزمایشگاهی و مدل، ۰/۵۳۵ و ۰/۵ است که با توان به دست آمده توسط لئوپلد و همکاران و سیمون-آلبرتسون که به ترتیب ۰/۵۶ و ۰/۵۱ می‌باشد، اختلاف زیادی ندارد. عموماً برای بسترهای ماسه‌ای، این توان بین ۰/۴۲-۰/۵۶ خواهد بود که توان معادله‌های این پژوهش در این بازه قرار دارد.

توان معادله عمق-دبی به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی برابر ۰/۳۵ است که تقریباً با توان معادله سیمون-آلبرتسون یعنی ۰/۳۶، نزدیک می‌باشد و توان معادله عمق-دبی به دست آمده از نتایج مدل **GSTARS** برابر ۰/۴ می‌باشد که مقداری بیش‌تر از توان به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی است. به طور کلی برای بستر ماسه‌ای این توان بین ۰/۲۷ و ۰/۴۳ قرار دارد. ضرایب تبیین شیب کانال-دبی مدل و آزمایشگاه بسیار ضعیف می‌باشد (شکل‌های ۲ و ۳) و توان معادلات به دست آمده از مدل و آزمایشگاه با توان معادله‌های نیکسون و لپترو نیز متفاوت است. میلار (۲۰۰۵) عرض و شیب طولی کانال را به ترتیب متناسب با دبی به توان ۰/۵ و ۰/۲۵- بیان نموده است.



شکل ۲- معادله‌های رژیم به دست آمده از اطلاعات آزمایشگاه:

(الف) رابطه دبی - عرض (ب) رابطه دبی - عمق (پ) رابطه دبی - شیب کانال (ت) رابطه دبی - شیب جانبی.



شکل ۳- معادله‌های رژیم به دست آمده از اطلاعات مدل:

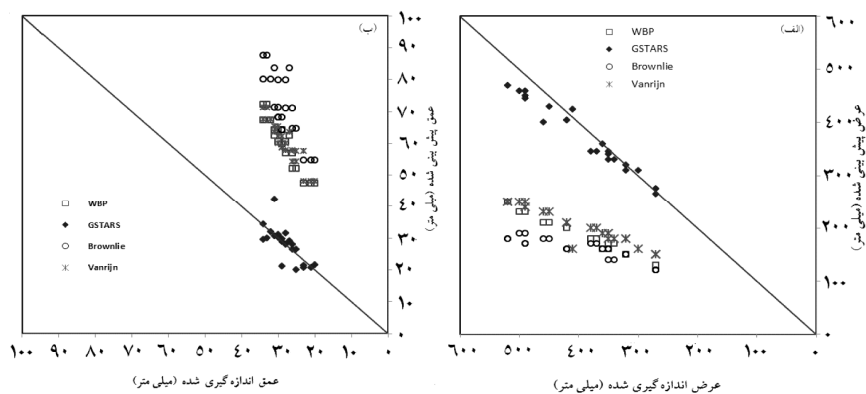
(الف) رابطه دبی - عرض (ب) رابطه دبی - عمق (پ) رابطه دبی - شیب کانال (ت) رابطه دبی - شیب جانبی.

هنگامی که اطلاعات شیب جانبی با نرخ دبی مرتبط می‌گردد، توان معادله‌های به‌دست آمده از اطلاعات آزمایشگاه و مدل به‌ترتیب $-0/216$ و $-0/048$ است (شکل‌های ۲ و ۳). معادله‌های حاضر هنوز به اطلاعات بیش‌تر با تنوع بیش‌تری از دانه‌بندی رسوب و دبی برای پژوهش بیش‌تر و جامع‌تر شدن نیاز دارند و به‌طورکلی این معادله‌ها پیشنهاد نمی‌شود.

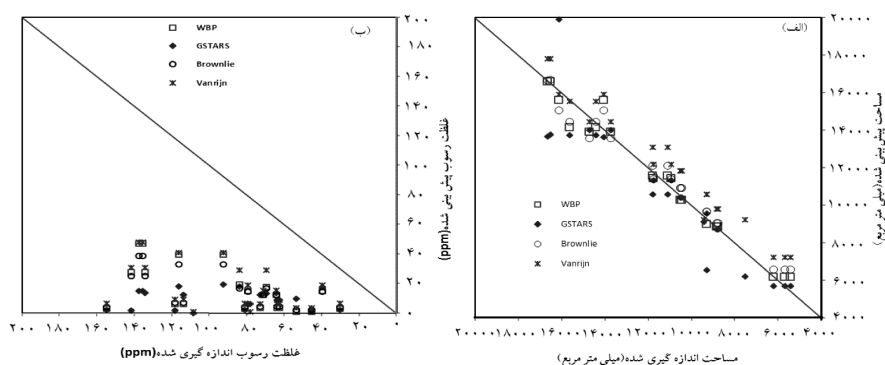
مقایسه نتایج به‌دست آمده از روش‌های تئوری حدنهایت با اطلاعات آزمایشگاهی: برای بررسی صحت روش‌های WBP، GSTARS، برونلی و ون‌راین، مقادیر پیش‌بینی شده توسط هر روش در مقابل مقادیر آزمایشگاهی رسم و مقایسه شده است. این مقایسه براساس اختلاف نسبی (میانگین نسبت مقادیر پیش‌بینی شده به مقادیر مشاهده شده) هر روش که در جدول ۲ آمده است، تفسیر شده است. در این مقایسه تئوری بیشینه شدن انتقال رسوب با تئوری حداقل شدن قدرت جریان نیز قابل مقایسه است.

جدول ۲- مقایسه میان پارامترهای هیدرولیکی پیش‌بینی شده توسط WBP، GSTARS، ون‌راین و برونلی.

اختلاف نسبی DR (مقادیر پیش‌بینی شده تقسیم بر مقادیر اندازه‌گیری شده)					
روش	عرض (B)	عمق (d)	مساحت (A)	غلظت رسوب (X)	ضریب مانینگ (n)
GSTARS	۰/۹۵	۱/۰	۰/۹۶	۰/۱۲	۰/۹۳
WBP	۰/۵۲	۱/۹۲	۰/۹۹	۰/۱۵	۱/۲۰
Van Rijn	۰/۵۲	۲/۰۵	۱/۰۵	۰/۳۲	۱/۳۸
Brownlie	۰/۴۶	۲/۱۷	۰/۹۹	۰/۶۳	۱/۲۸



شکل ۴- مقایسه میان مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر پیش‌بینی شده توسط روش‌های WBP، GSTARS، ون‌راین و برونلی: الف) عرض و ب) عمق.



شکل ۵- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط روش‌های WBP، GSTARS، ونراین و برونلی: الف) مساحت و ب) غلظت رسوب.

عرض بالا توسط همه روش‌ها کم‌تر از مقادیر واقعی پیش‌بینی شده است (جدول ۲ و شکل ۴) و مدل GSTARS4.0 توانسته مقطع بهینه با کم‌ترین محیط مرطوب را با استفاده از رابطه انتقال رسوب یانگ^۱ با دقت بیش‌تری پیش‌بینی نماید. شکیر (۱۹۹۲) و بابائیان‌کوپایی (۱۹۹۵) آزمایش‌های خود را با روش WBP مقایسه کردند و دریافتند که اختلاف نسبی مربوط به عرض به ترتیب ۰/۵ و ۰/۴۶ است. روش WBP در تخمین عمق کانال دقت بالاتری را نسبت به روش‌های برونلی (۱۹۸۳) و ونراین (۱۹۸۴a) ارائه داده است و مدل GSTARS عمق کانال را بسیار بهتر از بقیه روش‌ها پیش‌بینی نموده است (جدول ۲ و شکل ۴). در تخمین عمق کانال، بابائیان‌کوپایی (۱۹۹۵) این اختلاف نسبی را ۱/۷ گزارش کرده است. با این‌که روش‌های WBP، GSTARS، برونلی و ونراین عرض را کم‌تر و عمق را بیش‌تر از مقادیر آزمایشگاه تخمین می‌زنند، مساحت را به خوبی پیش‌بینی می‌نمایند به طوری‌که اختلاف میان مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده کم‌تر از ۵ درصد است (جدول ۲ و شکل ۵). بابائیان‌کوپایی (۱۹۹۵)، شکیر (۱۹۹۲) و ایوب‌زاده (هیدرا، ۲۰۰۲) نیز در مطالعات‌شان به نتایج مشابهی دست یافته‌اند.

غلظت رسوب توسط همه روش‌ها کم‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه برآورد شده است (شکل ۵). به عبارت دیگر غلظت رسوب پیش‌بینی شده توسط معادله‌های یانگ، ایکرز- وایت، ونراین و برونلی به ترتیب ۸، ۷، ۳ و ۱/۶ برابر کم‌تر نسبت به مقادیر مشاهده شده است. شکیر

1- Yang's Sand 1973 and Gravel 1984 Transport Formulas

(۱۹۹۲)، بابائیان کوپایی و ولتاین (۱۹۹۵) و بنسون و همکاران (۱۹۹۷) دریافتند که مقادیر غلظت رسوب مشاهده شده به ترتیب ۳، ۱/۶ و ۴ بار بیش تر از مقادیر پیش بینی شده توسط ایگز- وایت بوده است. به دلیل یکسان نبودن معیار پایداری، پژوهشگران برای معادله ایگز- وایت اختلاف نسبی های متفاوتی گزارش کرده اند.

به طور کلی معادله مقاومت به کار رفته در WBPA، GSTARS، ونراین و برونلی خیلی به هم نزدیک بوده و این روش ها ضریب زبری را به ترتیب ۷ درصد کم تر، ۲۰ درصد، ۳۸ درصد و ۲۸ درصد بیش تر از مقادیر مشاهده شده پیش بینی می کنند (جدول ۲). از نتایج ارایه شده نتیجه می گیریم که مفهوم بیشینه شدن انتقال رسوب، غلظت رسوب را نسبت به روش حداقل شدن توان جریان بهتر تخمین می زند. دلیل تنوع زیاد در اختلاف نسبی گزارش شده توسط پژوهشگران مختلف مربوط به رسوب برای یک روش (مانند WBPA)، نبود یک معیار یکسان برای پایداری کانال ها می باشد. مدل هایی که بر اساس حداکثر شدن انتقال رسوب عمل می کنند به دلیل این که پایداری سواحل را در نظر نمی گیرند، عرض کانال را کم تر تخمین می زند که در واقع علت اختلاف میان این روش ها با مقدار واقعی می باشد. عرض، عمق و مساحت مقطع عرضی کانال پایدار توسط روش حداقل شدن قدرت جریان نسبت به روش بیشینه شدن انتقال رسوب بسیار بهتر پیش بینی شده است.

منابع

1. Babaeyan-Koopaei, K. 1996. A study of straight stable channels and their interactions with bridge structures. PhD Thesis, University of Newcastle Upon Tyne, UK, 224p.
2. Babaeyan-Koopaei, K., and Valentine, E.M. 1995. A rational regime theory: different combinations of formulae. The second Int. Conf. on Hydro-Science and Eng, Beijing, China. 2: 2037-2044.
3. Benson, I., Valentine, E.M., Nalluri, C., and Bathurst, J.C. 1997. Flood channel facility: Experiments in two-stage channels mobile boundary channels. The 27th Congress of IHAR, San Francisco, California-USA. 2: 949-954.
4. Brownlie, W.R. 1983. Flow depth in sand-bed channels. ASCE, JHE. 109: 7. 959-990.
5. Haidera, M.A.T. 2002. The stability of alluvial channels with overbank flow. PhD Thesis, Newcastle University, 230p.
6. Millar, R.G. 2005. Theoretical regime equations for mobile gravel-bed rivers with stable banks. Geomorphology. 64: 207-220.

7. Shakir, A.S. 1992. An experimental investigation of channel plan forms. PhD Thesis, Newcastle University, UK, 224p.
8. Van Rijn, L.C. 1984a. Sediment transport, Part I: Bed load transport. ASCE, JHE. 110: 10. 1431-1456.
9. Van Rijn, L.C. 1984b. Sediment transport Part III: Bed forms and alluvial roughness. JHE. 110: 12. 1733-1754.
10. White, W.R., Bettess R., and Paris, E. 1982. Analytical approach to river regime. ASCE, JHD. 108: 10. 1179-1193.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(6), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Short Technical Report

Analysis of alluvial channels stability based on empirical and analytical methods

Gh.R. Azizyan¹, *R. Mir² and R. Bozorgmehr²

¹Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan,

²M.Sc., Dept. of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan

Received: 02/27/2013; Accepted: 11/20/2013

Abstract

It is still a concern of both hydraulic engineers and geomorphologists to improve prediction of the channel geometry and probable bedform so that it could convey the discharge and its accompanying sediment load channel without significant changes on geometry and planform during their design life. Due to the complexity and dynamic nature of the alluvial system, empirical, semi-empirical and statistical models with their inherent limitation in application were developed for designing regime channel and predicting channel dimensions and slope. In this research, mathematical model of GSTARS4.0 was used to predict the stable channel geometry, employing maximization sediment transport hypothesis of White et al, Brownlie and Van rijn. The outcome results of model were compared with the experimental data and those calculated from empirical equations. It was generally found that the minimum stream power hypothesis used in GSTARS4.0 model predicted the regime channel geometry more accurate than other methods for width and depth ratios of 0.95 and 1. The sediment concentration obtained from Brownlie equation shows a better compatibility with the available experimental data to compare with other methods mentioned.

Keywords: Regime channels, Extremal hypothesis, Empirical equations, Sediment concentration

* Corresponding Author; Email: mir_reza62@yahoo.com

