



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی گوار

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره دوم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

## شبیه‌سازی پایداری کانال‌های آبرفتی با استفاده از مدل ریاضی GSTARS4.0

غلامرضا عزیزیان<sup>۱</sup>، غلامحسین اکبری<sup>۱\*</sup>، رضا میر<sup>۲</sup> و رضا بزرگمهر<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان،

<sup>۲</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۸

### چکیده

**سابقه و هدف:** به منظور پیش‌بینی پاسخ رودخانه‌های آبرفتی به تغییرات مصنوعی و طبیعی اعمال شده، شناخت و پیش‌بینی هندسه پایدار رودخانه دارای اهمیت است. تعیین هندسه مقطع عرضی، شیب و معیار پایداری کانال‌ها و رودخانه‌ها موضوع مورد توجه بسیاری از مهندسی‌ان عمران در رابطه با طرح‌های آبیاری، مهندسی رودخانه و پروژه‌های هیدرولیکی می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی پارامترهای هندسی، معیارهای تعادل و روند پایداری دینامیکی کانال‌های پایدار می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** بدین منظور یک کانال آزمایشگاهی توسط نرم‌افزار GSTARS4.0 که یک مدل ریاضی بوده و براساس کمینه نمودن قدرت عمل می‌کند، مدل‌سازی شده است. این مدل با استفاده از مفهوم لوله‌های جریان، قابلیت شبیه‌سازی جریان توزیع رسوب‌گذاری را به صورت شبه دوبعدی (طولی و عرضی) در رودخانه‌ها دارد. واسنجی هیدرولیکی، مدل به‌ازای دبی‌ها و ضرایب زبری مانینگ مختلف اجرا شده و نتایج پروفیل سطح آب محاسباتی با مقادیر واقعی رقوم سطح آب بر روی پهنه سیلابی مقایسه گردید. بدین ترتیب با داشتن تراز سطح آب به‌ازای دبی‌های مختلف، مقدار ضریب مانینگ پهنه سیلابی و کانال اصلی در مدل به‌نحوی انتخاب شده تا به‌ازای دبی معلوم ورودی و تراز سطح آب، ابعاد محاسبه شده توسط مدل با مقدار واقعی همخوانی داشته باشد. نتایج این مقایسه بیانگر مطابقت رقوم سطح آب محاسباتی با رقوم سطح آب مشاهداتی به‌ازای ضریب زبری مانینگ ۰/۰۱۴ است. برای واسنجی هیدرولیک رسوب مدل، زاویه پایداری مصالح بستر برابر مقدار آزمایشگاهی ( $\phi=33^\circ$ ) قرار گرفت. در ادامه واسنجی، تغییرات مقطع عرضی کانال آزمایشگاهی به‌ازای روابط تجربی مختلف موجود در مدل ریاضی GSTARS شبیه‌سازی شده و با مقطع عرضی آزمایشگاهی مقایسه گردید. معادله انتقال رسوب ماسه یانگ (۱۹۷۹) مطابقت بهتری با مشاهدات آزمایشگاهی دارد. تعدادی از داده‌ها که در واسنجی مدل به‌کار نرفته بودند به‌منظور صحت‌سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند که در این مرحله عرض بالا و پایین کانال‌ها با ضریب همبستگی به‌ترتیب ۰/۹۷۵ و ۰/۹۴۲ پیش‌بینی شده‌اند.

\* مسئول مکاتبه: [mir\\_reza62@yahoo.com](mailto:mir_reza62@yahoo.com)

**یافته‌ها:** کانال‌های آبرفتی هندسه هیدرولیکی خود را به نحوی تنظیم می‌نمایند که بین جریان و انتقال رسوب تعادل برقرار شود. در ۲ تا ۳ ساعت نخست، فرسایش و ته‌نشینی جدارها و بستر کانال شدید بوده و مقدار قابل ملاحظه‌ای انتقال رسوب و عریض شدن کانال مشاهده گردید و سپس کاهش می‌یابد. افزایش عرض بالا، کاهش عرض پایین و در نهایت افزایش شیب جانبی در همه مقاطع قابل مشاهده است و عمده تغییرات در ۲ ساعت اول اتفاق می‌افتد که تغییرات ارتفاع در جهت تنظیم شیب بستر کانال و حفظ یکنواختی پروفیل سطح آب می‌باشد. برای تعیین مستقیم، مستقیم کم‌عمق و مارپیچ بودن کانال‌ها، مدل‌های این پژوهش در خطوط آکرز-چارلتون و لین ترسیم گردید. این کانال‌ها در پایین این خطوط واقع شده است و مستقیم می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** این پژوهش قابلیت و کارایی مناسب مدل ریاضی GSTARS4.0 را در پیش‌بینی تغییرات طولی و عرضی تراز بستر رژیم کانال‌ها نشان می‌دهد. در ادامه معیارهای پایداری نظیر تغییرات عرض، تغییرات سطح آب (مستقیم شدن پروفیل سطح آب) و یکنواختی نرخ انتقال رسوب که توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است مورد بررسی قرار گرفته و مشاهده گردید سه معیار مذکور در همه مدل‌ها به وقوع پیوسته است. بنابراین ترکیبی از این معیارها برای پایداری رژیم کانال‌ها پیشنهاد شد.

#### واژه‌های کلیدی: کانال پایدار، الگوی کانال، شیب بستر، قدرت جریان، GSTARS4.0

#### مقدمه

نقش حیاتی رودخانه‌ها در تمدن بشری و در توسعه و بهره‌برداری از آب‌های سطحی و به تبع آن شناخت رفتار رودخانه‌ها از جنبه‌های مختلف امری بدیهی است. رودخانه‌ها ماشین‌های طبیعی‌اند که با مصرف انرژی عمل فرسایش و انتقال مواد و مصالح آبرفتی بستر و بدنه خود را انجام می‌دهند. در حقیقت رودخانه‌ها را می‌توان نوعی نوار نقاله دانست که به‌طور تناوبی رسوب‌ها را به طرف تراز با انرژی کم‌تر منتقل می‌نمایند از آنجا که رودخانه‌ها اغلب حجم عظیمی از آب و رسوب را در زمان‌ها و مکان‌های مختلف منتقل می‌نمایند، هرگز الگوی رفتاری واضح و شفافی ندارند. با این وجود طی بیش از یک قرن پژوهش و رفتارسنجی مشخص شده است که مجموعه رودخانه‌های آبرفتی طبیعی غالباً به شرایط و مشخصات یکنواخت متوسطی می‌رسند (۱۳).  
کانال‌های آبرفتی پایدار به‌عنوان کانال‌هایی که شیب، عمق و عرض خود را به‌صورتی تغییر داده و

تنظیم می‌نمایند که شرایط پایداری را تحت شدت جریان و رسوب مشخصی به‌دست آورند، معرفی می‌شوند. جهت تعیین پایداری کانال‌های آبرفتی، چانگ بیان نمود که توان مصرفی برای واحد طول کانال،  $Q/S$ ، شرطی مناسب جهت تعادل دینامیکی در طول کانال می‌باشد. براساس این فرضیه تغییرات عرض هم‌زمان با سایر تغییرات جریان، غیریکنواختی پروفیل طولی سطح آب را کاهش می‌دهد و نرخ تغییرات عرض توسط نرخ انتقال رسوب محدود می‌شود. یعنی تغییرات عرض هنگامی متوقف می‌شود که نرخ رسوب انتقال شده توسط کانال، تقریباً یکنواخت شود (۱۰).

لئوپلد و ولمن (۱۹۵۷) معیار پایداری در آزمایش‌های خود را پروفیل طولی سطح آب بیان نموده‌اند اما درباره اینکه بین شیب سطح آب و شیب بستر برای رسیدن به شرایط پایداری کانال چه ارتباطی وجود داشته، مطلبی بیان نکرده‌اند (۱۱).

کانالی با طول مستقیم بیش‌تر از ۱۰ برابر عرض آن در طبیعت یافت و بیش‌تر رودخانه‌ها پیچانرود و یا شریانی<sup>۱</sup> هستند. در نتیجه این پژوهش ایشان معادله شریانی<sup>۱</sup>  $S=0.06Q-0.44$  را برای متمایز نمودن کانال‌های پیچانرود و شریانی پیشنهاد دادند، که  $S$  شیب سطح آب و  $Q$  دبی بر حسب فوت مکعب بر ثانیه است (۱۱).

لین (۱۹۵۷) دو معادله برای شیب کانال‌های پایدار پیشنهاد داد. شیب کانال‌های پیچانرود را توسط رابطه (۱) بیان نمود (۱۲):

$$S = 0.0017Q^{-0.25} \quad (1)$$

و برای کانال‌های شریانی شیب بحرانی به قرار رابطه (۲) است:

$$S = 0.01Q^{-0.25} \quad (2)$$

اکرز و چارلتون (۱۹۷۰) با مطالعه بر روی الگوی کانال‌ها به این نتیجه رسیدند که در مقادیر کم‌تر از رسوب و جریان معینی، کانال مستقیم باقی می‌ماند و در مقادیر بالاتر از آن مارپیچی می‌شود و این کانال‌ها را براساس شیب طولی سطح آب به سه دسته مستقیم، مستقیم کم‌عمق و مارپیچ تقسیم نمودند (۲).

اکرز و چارلتون (۱۹۷۰) پژوهش‌های خود را بر روی کانال‌هایی با بستر ماسه‌ای با دانه‌بندی یکنواخت ادامه دادند و پیشنهاد نمودند که شیب طولی بحرانی سطح آب که در پیچانرودها اتفاق می‌افتد به قرار رابطه ۳ است (۳):

$$S = 0.002Q^{-0.12} \quad (3)$$

اکرز (۱۹۶۴) کانال‌های آبرفتی پیچانرود را به‌صورت آزمایشگاهی مطالعه نمود. ایشان در این مطالعات معیار پایداری این کانال‌ها را کاهش تغییرات مقطع عرضی در نظر گرفت و غلظت رسوب در خروجی کانال‌ها را یکی از عوامل مؤثر در ایجاد پایداری بیان نمود (۱).

شام و خان (۱۹۷۲) شرایطی را که تغییرات شکل و پلان کانال قابل ملاحظه نباشد، حالت پایدار بیان نموده‌اند (۱۵).

شکیر (۱۹۹۲) در کارهای آزمایشگاهی خود نشانه پایداری کانال را کم‌تر از ۲٪ شدن نرخ عریض شدن کانال در هر ساعت بیان نمود. به‌علاوه ایشان متوسط نرخ انتقال رسوب را در خروجی کانال اندازه‌گیری و از آن به‌عنوان یک نشانه پایداری کانال نام برد (۱۴).

یک کانال برای رسیدن به شرایط پایدار ممکن است به چندین ساعت یا چندین روز عبور جریان نیاز داشته باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سه معیار برای رسیدن یک کانال به شرایط تعادل قابل بیان است که عبارتند از:

- معیار تغییرات عرض: اکرز (۱۹۶۴)، اکرز و چارلتون (۱۹۷۰a و ۱۹۷۰b)، شام و خان (۱۹۷۲)، شکیر (۱۹۹۲)، بابائیان-کوپایی و ولتساین (۱۹۹۵a و ۱۹۹۵b)، ایوب‌زاده (۱۹۹۷) و بنسون و همکاران (۱۹۹۷) (۱، ۲، ۳، ۱۵، ۱۴، ۵، ۶، ۴ و ۷).

- معیار تغییرات سطح آب (شیب انرژی): لئوپلد و ولمن (۱۹۵۷) و چانگ (۱۹۷۹) (۹ و ۱۱).

- معیار یکنواختی نرخ انتقال رسوب: چانگ (۱۹۷۹) و (۸ و ۹).

لئوپلد و ولمن (۱۹۵۷) از مطالعه بر روی الگوی رودخانه‌های طبیعی دریافتند که به‌ندرت می‌توان

### مواد و روش‌ها

**الف- مدل ریاضی GSTARS:** مدل ریاضی GSTARS مدل ریاضی یک‌بعدی می‌باشد که با کمک گرفتن از مفهوم لوله‌های جریان می‌تواند به صورت شبه دو بعدی تغییرات تراز بستر رودخانه را در دو جهت طولی و عرضی شبیه‌سازی نماید. این مدل قابلیت شبیه‌سازی جریان و رسوب را در رودخانه‌های آبرفتی دارد. این مدل توسط مولیناس و یانگ در سال ۱۹۸۶ برای مؤسسه USBR<sup>۱</sup> برای حل مسایل پیچیده مهندسی رودخانه تهیه گردید. این مدل توسط پژوهشگران مختلف برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. با بررسی نتایج این مطالعات، نسخه اصلاح شده و کامل‌تر آن با نام GSTARS2.0 ارائه شد. نسخه‌های بعدی این مدل شامل GSTARS3.0، GSTARS-1D، GSTARS-W و GSTARS4.0 به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۴، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ ارائه شده‌اند (۱۶).

مدل ریاضی GSTARS4.0 دارای قابلیت‌های زیادی است که عبارتند از محاسبه مشخصات هیدرولیکی مقاطع روباز در شرایط بستر صلب و فرسایشی، محاسبه پروفیل سطح آب در شرایط جریان زیربحرانی، فوق‌بحرانی و ترکیبی، حل معادله‌های جریان در حالت جزیره‌ای شدن رودخانه، شبیه‌سازی تغییرات پارامترهای هیدرولیکی و رسوبی در دو جهت طولی و عرضی با استفاده از مفهوم لوله‌های جریان، قابلیت کاربرد در سواحل پایدار و فرسایشی، قابلیت استفاده از معادلات تجربی انتقال رسوب، قابلیت شبیه‌سازی رسوب‌های چسبنده، در نظر گرفتن دانه‌بندی غیریکنواخت رسوب و در نظر گرفتن

شام و خان (۱۹۷۲) مطالعه آزمایشگاهی بر روی تأثیر شیب و رسوب بر روی الگوی کانال را انجام دادند. آزمایش‌های ایشان بر روی بستر ماسه‌ای با قطر متوسط ۰/۷ میلی‌متر و دبی ۰/۰۰۴۵ مترمکعب بر ثانیه بود. آن‌ها دریافتند که روابط به دست آمده توسط لین (۱۹۵۷) و اکرز و چارلتون (۱۹۷۰b) با اطلاعات آن‌ها همخوانی دارد (۱۵، ۱۲ و ۳).

طراحی مناسب کانال‌ها و بهینه‌سازی مقاطع رودخانه‌ها به‌طور قابل‌توجهی کاهش هزینه‌ها و امکان توجیه اجرای پروژه‌ها را فراهم خواهد ساخت. انجام مطالعات آزمایشگاهی جهت مدل‌سازی کانال‌ها که با جریان‌هایی مشابه رودخانه‌ها به تعادل و پایداری برسند کاری دشوار، وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد. به همین دلیل باید سعی شود که با استفاده از آمار و اطلاعات با دقت مناسب همراه با واسنجی و صحت‌سنجی یک مدل ریاضی مناسب و کارا امکان شبیه‌سازی تغییرات مورفولوژی رودخانه فراهم شده و پیش‌بینی روند تغییرات آینده آن در اثر انجام طرح‌های مدیریت و سامان‌دهی رودخانه امکان‌پذیر گردد. در این مقاله، روند پایداری و تعادل کانال‌های پایدار با استفاده از مدل ریاضی GSTARS4.0<sup>۱</sup> شبیه‌سازی گردیده و سپس برای اطمینان از دقت مدل ریاضی واسنجی شده، اقدام به صحت‌سنجی مدل شده است. از آن‌جا که توافق یکسانی درباره معیار پایداری کانال‌ها وجود ندارد، بنابراین قضاوت عادلانه درباره شرایط و معیارها مشکل است از این‌رو معیارهای پایداری ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

2- United State Bureau of Reclamation

1- Generalized Stream Tube Model for Alluvial River Simulation

طول رودخانه،  $A_s$ : حجم رسوب معلق در واحد طول رودخانه،  $Q_s$ : دبی حجمی رسوب،  $q_s$ : دبی رسوب ورودی جانبی،  $x$ : فاصله طولی و  $t$ : زمان است. در این مدل از تغییرات رسوب معلق در یک مقطع عرضی نسبت به تغییر در بستر رودخانه و همچنین از اثر دبی رسوب ورودی جانبی صرف نظر شده است. بنابراین جمله‌های سوم و چهارم معادله (۴) حذف می‌شوند. فرض مهم دیگر این است که در طی یک گام زمانی، پارامترهای رسوبی در یک مقطع عرضی به صورت ثابت فرض می‌شوند. بنابراین باید گام‌های زمانی در محاسبات کوچک فرض شود، بدیهی است که در اغلب شرایط رودخانه‌ای، تغییرات پارامترهای هیدرولیک جریان بسیار سریع‌تر از پارامترهای رسوبی رودخانه است. به همین دلیل، محاسبات هیدرولیک جریان و رسوب به‌طور مجزا انجام می‌شود. معادله دیفرانسیلی ساده شده بالا در هر لوله جریان و برای هر گروه از دانه‌بندی مصالح بستر به کمک روش تفاضل‌های محدود و الگوی صریح حل می‌گردد. با حل این معادله، تغییر تراز بستر رودخانه در هر مقطع عرضی محاسبه می‌گردد.

محاسبات ظرفیت انتقال رسوب: ظرفیت انتقال رسوب هر مقطع از رودخانه در یک گام زمانی از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$C_t = \sum_{k=1}^N p_k C_k \quad (5)$$

که در آن،  $C_t$ : ظرفیت کل انتقال رسوب،  $p_k$ : درصد مصالح موجود از گروه دانه‌بندی  $k$  در مصالح بستر،  $C_k$ : ظرفیت انتقال رسوب از هر گروه دانه‌بندی و  $N$ : تعداد گروه‌های دانه‌بندی است.  $C_k$  براساس یکی از ۱۵ رابطه تجربی انتقال رسوب

رسوب‌های ریزدانه حوضه‌ای یا بار شسته همراه با سیلاب (۱۶). یانگ و سیموئز با استفاده از این مدل، وضعیت توسعه کف‌کنی یک کانال آزمایشگاهی با بستر ماسه‌ای را شبیه‌سازی نمودند. نتایج محاسباتی مطابقت خوبی با مشاهده‌های آزمایشگاهی به‌ویژه در مراحل اولیه کف‌کنی را نشان داده است (۱۷).

ب- معادله‌های حاکم: هیدرولیک جریان: مدل ریاضی GSTARS4.0 از روش گام استاندارد، معادله انرژی و معادله مومنتم برای حل پروفیل سطح آب استفاده می‌کند. محاسبات جریان در شرایط جریان زیربحرانی، فوق بحرانی و ترکیبی از معادله انرژی و روش گام استاندارد و در شرایط پرش هیدرولیکی با استفاده از معادله مومنتم قابل حل است. در این مرحله، با استفاده از لوله‌های جریان، ابتدا پروفیل آب برای یک سطح زمانی و دبی خاص در کل مقطع عرضی محاسبه شده و سپس مقطع عرضی به چند لوله جریان با ظرفیت انتقال یکسان (دبی‌های یکسان با مساحت و سرعت متفاوت) تقسیم می‌شود. مرزهای غیرمنظم کانال به همراه سطح آب و دیواره‌های عمودی فرضی بین لوله‌های جریان، محدوده یک لوله جریان را تشکیل می‌دهند.

محاسبات تغییرات تراز بستر: بعد از محاسبات پروفیل سطح آب، محاسبات رسوب به‌طور مجزا در هر لوله جریان انجام می‌شود. این محاسبات با فرض عدم تبادل جرم بین لوله‌های جریان و براساس رابطه پیوستگی رسوب است:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + \eta \frac{\partial A_d}{\partial t} + \frac{\partial A_s}{\partial t} - q_s = 0 \quad (4)$$

که در آن،  $\eta$ : حجم رسوب در حجم واحد مصالح بستر رودخانه،  $A_d$ : حجم رسوب بستر در واحد

توسط روش وایت، بتیس و پریس<sup>۱</sup> پیش‌بینی گردیده و سپس با استفاده از تجربه‌های دیگر پژوهشگران به شرایط پایدار نهایی نزدیک شده تا در زمان کم‌تری به پایداری برسند. در این مطالعه آزمایشگاهی کاهش تغییرات عرض کانال به کم‌تر از ۲٪ در هر ساعت، معیار پایداری کانال‌ها بوده است. شیب بستر سری A، ۰/۰۱۷ و شامل ۱۲ آزمایش با دبی ۲/۵ تا ۶ لیتر بر ثانیه بوده و شیب بستر سری B، ۰/۰۲۱۴ و شامل ۱۲ آزمایش با دبی ۲ تا ۶ لیتر بر ثانیه بوده است (۱۰).  
**د- داده‌های ورودی به مدل ریاضی:** داده‌های ورودی مورد نیاز مدل عبارتند از داده‌های هندسی، داده‌های هیدرولیکی و داده‌های رسوبی. در بخش هندسی، پلان کانال همراه با مقاطع عرضی آن به مدل معرفی گردید. مقاطع کانال‌ها از بالادست به پایین‌دست مدل‌سازی و در حالت متعادل فرض شده‌اند، یعنی رسوب ورودی به مقطع برابر با ظرفیت انتقال رسوب مقطع می‌باشد.

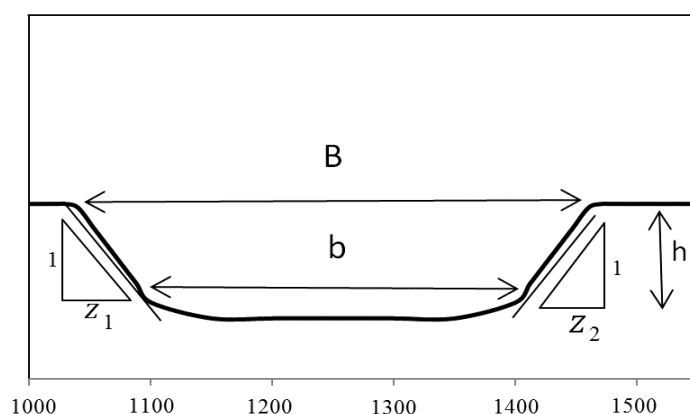
برای وارد کردن مشخصات جریان به مدل از داده‌های دبی و ارتفاع آب استفاده شده است. بدین ترتیب که جریان یکنواخت و هم‌تراز با سطح قاعده بالای مقطع دوزنقه کانال برای اطلاعات هیدرولیکی مورد نیاز مدل استفاده گردیده است. با توجه به این‌که اطلاعات منحنی دانه‌بندی مصالح بستر نقش مهمی در شبیه‌سازی جریان و رسوب دارد از منحنی‌های دانه‌بندی مصالح بستر در مدل ریاضی استفاده گردید. مصالح بستر دارای دانه‌بندی یکنواخت (تقریباً یک میلی‌متر) می‌باشد. در این پژوهش، ۱۹ مورد از آزمایش‌های یادشده برای واسنجی مدل و ۵ مورد دیگر برای صحت‌سنجی مدل به کار رفته است.

موجود در مدل ریاضی GSTARS4.0 محاسبه می‌شود (۱۶).

**حداقل‌سازی توان کل رودخانه:** رودخانه‌ها، پارامترهای خود مانند هندسه مقطع، شیب طولی، زبری و... را به‌گونه‌ای تغییر داده و تنظیم می‌نمایند که نرخ انرژی مصرفی براساس دبی جریان و رسوب بالادست به کم‌ترین مقدار خود برسد. در GSTARS، تئوری کمینه شدن قدرت جریان بیان می‌کند که، وقتی یک سیستم بسته و میرا به حالت تعادل دینامیکی می‌رسد، نرخ هدر رفت انرژی آن باید در کم‌ترین مقدار خود باشد. اگر سیستم در حالت تعادل دینامیکی نباشد، نرخ اتلاف انرژی حداقل نخواهد بود، اما سیستم به روشی که نرخ اتلاف انرژی حداقل شود خود را تنظیم می‌کند و به تعادل می‌رساند. تغییرات هندسی کانال در جهت‌های عمودی و جانبی یا در ترکیب هر دو اتفاق می‌افتد که بستگی به آن دارد که در کدام جهت قدرت جریان کم شود و مطابق با تئوری کمینه شدن قدرت جریان باشد (۱۶).

**ج- کانال مورد مطالعه:** کار آزمایشگاهی انجام شده توسط هیدرا (۲۰۰۲) که در این پژوهش توسط GSTARS4.0 مدل شده است، بدین شرح می‌باشد: کانالی به طول ۱۸ متر که دارای بدنه و کف فرسایش‌پذیر تا عمق ۰/۶ متر از جنس ماسه با  $D_{90} \approx 1.0 \text{ mm}$  و سرریزهای قابل تنظیم جهت کنترل سطح آب درون کانال می‌باشد. آزمایش‌های انجام شده بر روی کانال مذکور شامل دو سری A و B می‌باشند که با مقاطع عرضی اولیه و دبی جریان مختلف صورت پذیرفته‌اند. در شکل ۱ نمایی از مقطع عرضی نشان داده شده است. مقاطع عرضی اولیه براساس دبی جریان، شیب کانال و دانه‌بندی مصالح

1- White, Bettess and Paris (WBP)



شکل ۱- نمایی از یک مقطع و پارامترهای هیدرولیکی آن.

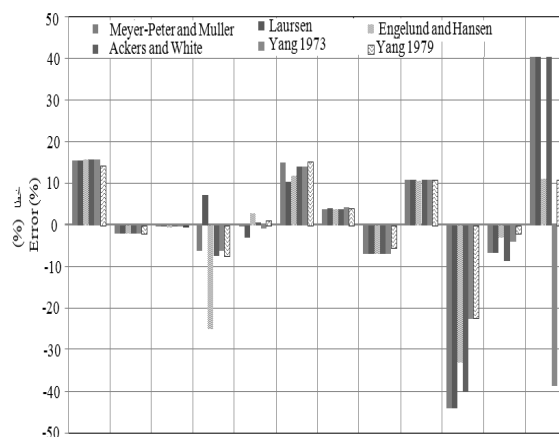
Figure 1. A cross-section and applied hydraulic parameters.

واسنجی هیدرولیک رسوب: پس از اطمینان از واسنجی مدل برای شبیه‌سازی هیدرولیکی، باید مدل ریاضی برای شبیه‌سازی رسوب نیز واسنجی گردد. به این منظور، کانال آزمایشگاهی به‌ازای روابط تجربی مختلف موجود در مدل ریاضی GSTARS شبیه‌سازی شده و با مقطع عرضی نهایی آزمایشگاهی مقایسه گردید. در مرحله واسنجی تعداد لوله‌های جریان با آزمون و خطا ( $NT=1$ ) انتخاب شد و زاویه پایداری مصالح بستر برابر مقدار آزمایشگاهی ( $\phi=33^\circ$ ) قرار گرفت. نتایج مقایسه در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. خطای روابط رسوبی مختلف برای پیش‌بینی مقطع پایدار چند کانال در شکل ۲ نشان داده شده است. مقطع عرضی نهایی پیش‌بینی شده توسط روابط رسوبی مختلف برای کانالی با دبی ۶ لیتر بر ثانیه در شکل ۳ رسم شده است.

### نتایج و بحث

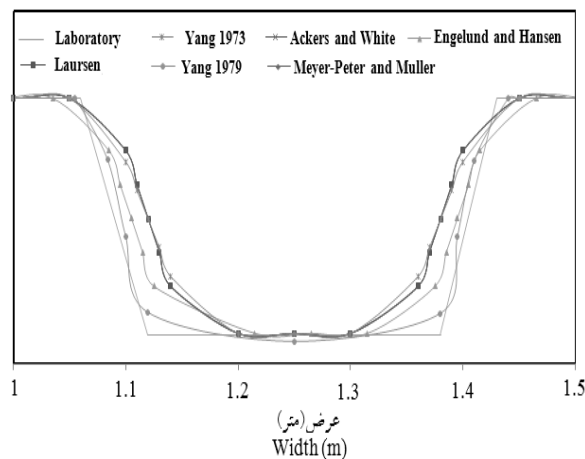
#### الف- واسنجی مدل ریاضی

واسنجی هیدرولیک جریان: با توجه به این‌که پارامترهای به‌دست آمده از هیدرولیک جریان مبنای محاسبات رسوبی قرار می‌گیرند، بنابراین لازم است که ابتدا از واسنجی مدل ریاضی در بخش هیدرولیک جریان اطمینان حاصل گردد. به این منظور، مدل ریاضی GSTARS به‌ازای دبی ۳ لیتر بر ثانیه و با مقادیر مختلف ضریب زبری مانینگ اجرا شده و نتایج پروفیل سطح آب محاسباتی با مقادیر واقعی رقوم سطح آب مقایسه گردید. نتایج این مقایسه بیانگر مطابقت رقوم سطح آب محاسباتی با رقوم سطح آب مشاهداتی به‌ازای ضریب زبری مانینگ  $0/014$  است که با توجه به ماسه‌ای بودن مصالح بستر کانال با  $D_{50}$  تقریباً یک میلی‌متر، به مقدار ضریب زبری مانینگ حاصل از رابطه استریکلر ( $n=0/015$ ) نزدیک می‌باشد.



شکل ۲- مقایسه روابط انتقال رسوب مختلف برای مقطع عرضی نهایی.

Figure 2. A comparison between different sediment transport equations for final cross-section.



شکل ۳- واسنجی روابط رسوبی مختلف برای مقطع عرضی نهایی.

Figure 3. Calibration of various sediment transport equations for final cross-section.

به‌کار نرفته بود استفاده شد. پارامترهای آماری مربوط به مرحله صحت‌سنجی در جدول ۱ آمده است. در این مرحله جهت مقایسه بهتر نتایج، پارامترهای آماری ضریب همبستگی، میانگین قدرمطلق خطاهای نسبی و ضریب تغییرات جذر میانگین مربعات خطاها به‌کار رفته است.

از نتایج این مقایسه مشاهده گردید که معادله انتقال رسوب ماسه یانگ ۱۹۷۹ مطابقت بهتری با مشاهدات دارند. از میان بقیه روابط رسوبی، رابطه انگلوند- هانسن کم‌ترین خطا و رابطه میر- پیتر و مولر بیش‌ترین خطا را دارند.

ب- صحت‌سنجی مدل ریاضی: در مرحله صحت‌سنجی، ۵ مورد آزمایش که در واسنجی مدل



جدول ۱- پارامترهای آماری در مرحله صحت‌سنجی مدل.

Table 1. Statistical parameters in model validation.

ابعاد هندسی مقطع (Geometric parameters)	ضریب همبستگی (Correlation coefficient)	میانگین قدرمطلق خطاهای نسبی (Mean absolute relative errors) $MARE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left  \frac{P_i - O_i}{O_i} \right $	ضریب تغییرات جذر میانگین مربعات خطاها (Coefficient of Variation Root Mean Squared Error) $CV(RMSE) = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times \frac{100}{O}$
B	0.975	4.03	6.22
b	0.942	8.75	15.47
h	0.751	7.63	9.47
z	0.791	10.56	14.62
S	0.911	4.31	0.09
N: تعداد مقادیر به کار برده شده N: Number of values used		O <sub>i</sub> : مقادیر آزمایشگاهی O <sub>i</sub> : Laboratory values	P <sub>i</sub> : مقدار پیش‌بینی توسط مدل P <sub>i</sub> : Predicted by model

وایت، بتیس و پریس مطالعه نموده و این مطلب را تأیید نموده است. ایشان بیان نمودند که اگر مقطع تنها توسط روش وایت، بتیس و پریس پیش‌بینی شده باشد برای رسیدن به پایداری بیش از ۷۰ ساعت زمان لازم خواهد داشت. در حالی که با پیش‌بینی توسط تئوری‌های رژیم زمان پایداری کانال‌ها تنها ۵ ساعت طول خواهد کشید (۱۰).

تمامی مدل‌های آزمایش‌های سری A با جریان مقطع پر مستقیم باقی مانده‌اند، بنابراین مشاهدات آزمایشگاه نتایج حاصل از مدل را تأیید می‌نماید. در مدل‌های سری A که دارای دبی ۲/۵ تا ۶ لیتر بر ثانیه هستند کانال اصلی مستقیم باقی مانده و در آن‌ها بستر مسطح و صاف است. در مدل‌های با دبی ۴ لیتر بر ثانیه تغییرات در عرض بالای کانال شروع گردیده و در دبی ۵ لیتر بر ثانیه این تغییرات شدیدتر شده‌اند و در دبی ۶ لیتر بر ثانیه جریان با عریض کردن کانال، کناره‌ها را منظم نموده است این در حالی است که در آزمایشگاه بستر کانال‌های با دبی ۲/۵ تا ۵ لیتر بر ثانیه صاف باقی مانده است و در بستر کانال‌هایی که جریان با دبی ۶ لیتر بر ثانیه دارند تلماسه‌های دو بعدی مشاهده شده است (۱۰).

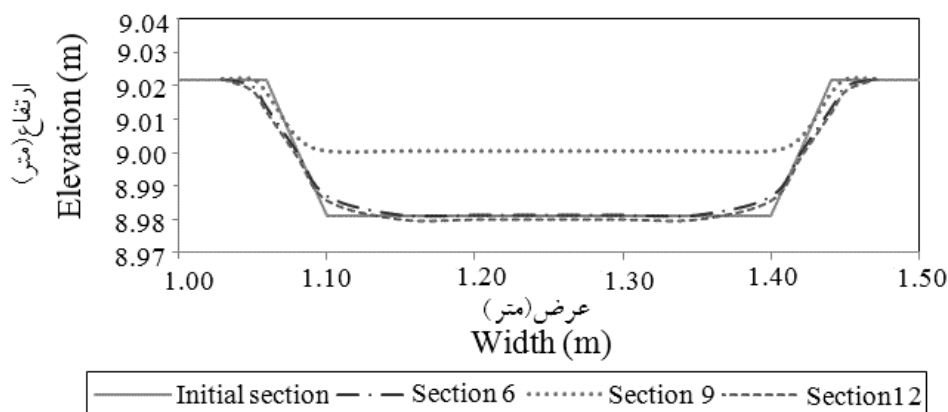
اطلاعات جدول ۱ نشان می‌دهد که ابعاد هندسی و شیب کانال‌ها پس از پایداری به خوبی توسط مدل پیش‌بینی شده است.

پ- پایداری، بستر و شکل کانال: عموماً همه مدل‌ها در دو ساعت نخست به سرعت عریض شده و به شرایط پایدار نزدیک می‌شوند که نتایج حاصل از مدل GSTARS4.0 توسط نتایج آزمایشگاه تأیید شده است. مطابق نتایج حاصل از مدل پس از ۲ ساعت، نرخ عریض شدن کانال کاهش یافته و در نهایت پس از ۵ تا ۶ ساعت به پایداری می‌رسد.

کانال‌های مورد مطالعه پژوهشگران دیگر مانند بابائیان- کوپایی و ولتاین (۱۹۹۵ الف و ب) و شکیب (۱۹۹۲) در آزمایشگاه در زمان کوتاهی در حدود ۵ تا ۶ ساعت پس از جریان یافتن آب در کانال به شرایط پایدار رسیده‌اند (۵، ۶ و ۱۴). علت کوتاه شدن زمان همان‌گونه که قبلاً بیان شد این است که ابعاد و شرایط پایداری اولیه توسط روش وایت، بتیس و پریس به‌دست آمده و سپس با استفاده از نتایج واقعی به شرایط پایدار نهایی نزدیک شده است. بنابراین شیب، عرض و عمق مقاطع در زمان کم‌تری نسبت به آنچه انتظار می‌رفت توسط جریان تغییر می‌نماید. ایوب‌زاده بر روی رژیم کانال‌های پیش‌بینی شده توسط روش

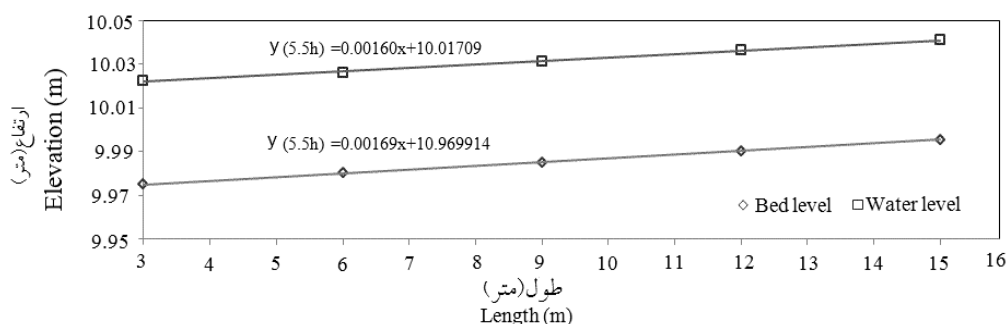
برای مدل با دبی ۵ لیتر بر ثانیه که کاملاً مستقیم است، مقاطع عرضی نهایی و شیب‌ها در شکل ۴ و شکل ۵ نشان داده شده است. شکل ۴، سه مقطع عرضی با دبی ۵ لیتر بر ثانیه به فاصله ۳ متر از یکدیگر پس از گذشت ۶ ساعت را نشان می‌دهد. شکل ۵ یکنواختی جریان در این کانال را نشان می‌دهد که شیب سطح آب با شیب بستر مساوی است. بنابراین تنها پلان مورد انتظار برای مدل و کانال با دبی ۵ لیتر بر ثانیه شکل مستقیم آن است. این شرایط در همه مدل‌ها مشاهده گردیده که خود بیانگر تأیید نتایج مدل توسط شرایط آزمایشگاه می‌باشد.

در مدل‌های آزمایش‌های سری B با دبی ۲ تا ۵ لیتر بر ثانیه، کانال‌ها مستقیم و دارای بستر مسطح بودند. مدل‌های با دبی ۵/۷ لیتر بر ثانیه دارای تغییرات در ارتفاع کانال اصلی می‌باشند و مستقیم باقی مانده‌اند. این تغییرات در ارتفاع کانال در جهت تغییر شیب طولی و پایدار نمودن کانال می‌باشد. نتایج حاصل از آزمایشگاه برای کانال‌های سری B بدین قرار است که کانال‌های با دبی جریان ۲ تا ۵ لیتر بر ثانیه در آزمایشگاه، مستقیم و با بستر مسطح باقی مانده‌اند و جریان با دبی ۵/۷ لیتر بر ثانیه کانال را از طریق ماریچ و کم‌عمق نمودن به شرایط پایدار رسانیده است و در عین حال مستقیم باقی مانده‌اند (۱۰).



شکل ۴- مقاطع عرضی نهایی کانال پایدار مستقیم مدل با دبی ۵ لیتر بر ثانیه با فاصله ۳ متر از یکدیگر.

Figure 4. Final cross-section three meters apart of the straight stable channel with flow rate of  $5 \text{ ls}^{-1}$ .



شکل ۵- شیب نهایی سطح آب و بستر کانال پایدار مستقیم مدل با دبی ۵ لیتر بر ثانیه.

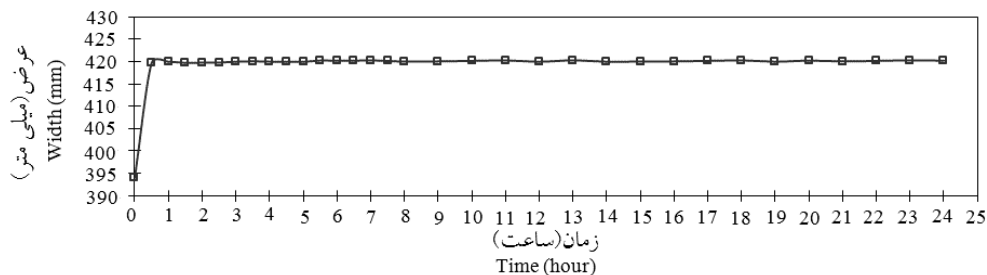
Figure 5. Final bed and water surface slopes of the straight stable channel with flow rate of  $5 \text{ ls}^{-1}$ .

این مدل در ساعت اول بسیار زیاد است. نرخ عریض شدن بعد از سومین ساعت عبور جریان کم‌تر از ۰.۲٪ شده است که در واقع کانال وارد شرایط پایدار خود شده است.

در آزمایشگاه نیز مشاهده شده است که نرخ عریض شدن در دو ساعت اول بیش‌تر است و عرض به‌دست آمده بعد از ۲ ساعت، ۸۵٪ عرض نهایی است که نرخ عریض شدن کانال بین ۰.۲٪ تا ۰.۹٪ در هر ساعت می‌باشد. در آزمایشگاه نرخ عریض شدن بعد از ششمین ساعت کم‌تر از ۰.۲٪ شده است و کانال به شرایط پایدار رسیده است (۱۰). تفاوتی که در این بررسی مشاهده شده است نشان می‌دهد که مدل، تغییرات را با شدت بیش‌تر و در زمان کم‌تری اعمال می‌نماید و در نصف زمان واقعی به شرایط پایدار می‌رساند.

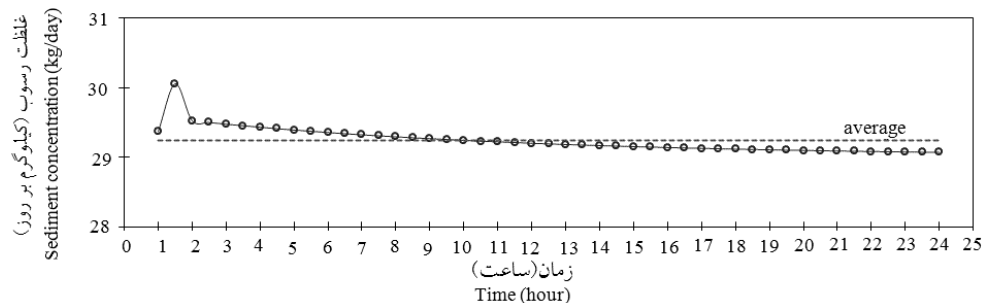
برای بررسی تغییرات عریض شدن، تغییرات غلظت رسوب و عمق مقطع عرضی کانال براساس زمان، جریان در کانال با دبی ۵/۷ لیتر بر ثانیه به‌مدت ۲۴ ساعت ادامه داشته و مقطع اولیه پس از رسیدن به شرایط پایدار و کاهش نرخ عریض شدن که معیار پایداری کانال‌ها در آزمایشگاه بوده است با همان شرایط ادامه پیدا کرده است. مدل‌سازی مشابه شرایط آزمایشگاه انجام گردیده و روند تغییرات عرض بالا، غلظت رسوب و عمق کانال در شکل‌های ۶ تا ۹ آمده است که پروفیل بستر و سطح آب بعد از هر دوره زمانی هشت ساعته در شکل ۸ نشان داده شده است.

نتایج حاصل از مدل نشان داد که نرخ عریض شدن در دو ساعت اول نسبت به زمان‌های بعد بیش‌تر و عرض به‌دست آمده پس از ۱/۵ ساعت، بیش‌تر از ۹۰ درصد عرض نهایی است که نرخ عریض شدن



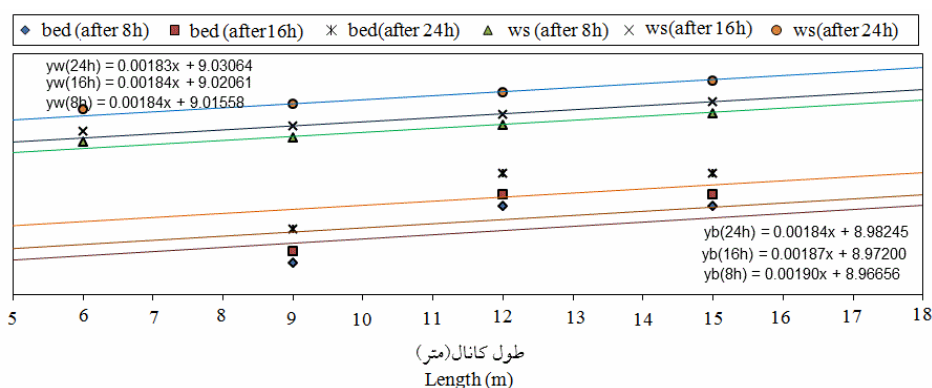
شکل ۶- تغییرات عرض مدل با دبی ۵/۷ لیتر بر ثانیه در مدت عبور جریان.

Figure 6. Width adjustment during developing a model with flow rate of 5.7 l/s<sup>-1</sup>.



شکل ۷- نرخ انتقال رسوب مدل با دبی ۵/۷ لیتر بر ثانیه در مدت عبور جریان.

Figure 7. Sediment transport rate during developing a model with flow rate of 5.7 l/s<sup>-1</sup>.



شکل ۸- پروفیل طولی سطح آب و سطح بستر در مدت عبور جریان دبی ۵/۷ لیتر بر ثانیه.

Figure 8. Water and bed profiles time history during developing a model with flow rate of 5.7 ls<sup>-1</sup>.

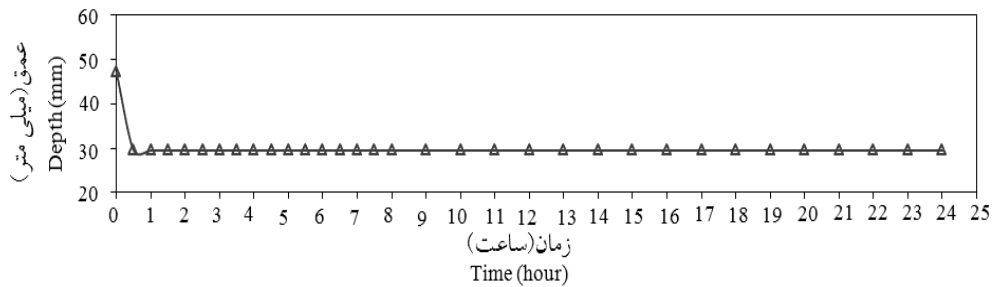
می‌دهد که هنگامی که غلظت رسوب منتقل شده توسط کانال یکنواخت می‌شود، کانال در حالت تعادل قرار خواهد گرفت. متوسط غلظت رسوب kg/day ۲۹/۲۴ است.

شکل ۸ پروفیل سطح آب و بستر در خط مرکزی طولی کانال مدل‌سازی شده را نشان می‌دهد. پروفیل سطح آب و بستر در خط مرکزی طولی کانال پس از ۸ ساعت، ۱۶ ساعت و ۲۴ ساعت نشان داده شده است. این شکل تغییرات شیب را این‌گونه نشان می‌دهد که پروفیل سطح بستر با کم‌عمق شدن کانال به آرامی تغییر می‌کند. این مطلب را می‌توان در شکل ۸ پس از هر ۸ ساعت مشاهده کرد که جریان همچنان یکنواخت می‌ماند، یعنی شیب بستر تقریباً مساوی با شیب سطح آب است، بنابراین یکنواخت باقی ماندن پروفیل سطح بستر که از نشانه‌های پایداری کانال است را می‌توان مشاهده نمود. مشاهدات آزمایشگاه بیانگر آن است که کانال اندکی کم‌عمق‌تر می‌شود و پروفیل بستر با کم‌عمق شدن کانال به آرامی تغییر می‌نماید و جریان همچنان یکنواخت باقی می‌ماند که نتایج مدل نیز این‌گونه بوده است. از طرفی در آزمایشگاه پس از مقداری افزایش عرض در کناره‌های کانال، اختلاف میان سطح آب و شیب بستر آغاز می‌گردد که در ساعت شانزدهم، شیب بستر، بیش‌تر از

شکل ۷ نرخ انتقال رسوب را در این مدل نشان می‌دهد که تغییرات آن را با گذر زمان بیان کرده است. در شکل ۷ می‌توان مشاهده نمود که بین ساعت اول تا دهم غلظت رسوب بالاتر از متوسط آن می‌باشد و عریض شدن کانال هر چند به مقدار کم ادامه دارد. بین ساعت دهم تا بیست و چهارم نرخ عریض شدن کانال به نسبت کم می‌شود و غلظت رسوب به کم‌تر از مقدار متوسط غلظت رسوب کانال تغییر خواهد کرد. در گزارش آزمایشگاه بیان شده است که بین ساعت سوم و ششم نرخ عریض شدن بالاست و تغییرات غلظت رسوب بالاتر از متوسط غلظت رسوب کانال بوده است و از ساعت ششم به بعد، نرخ عریض شدن کانال به نسبت کاهش یافته و غلظت رسوب به کم‌تر از مقدار متوسط غلظت رسوب کانال تغییر یافته است. از مقایسه نتایج می‌توان بیان نمود که هر چند مدل و کانال در ۲ ساعت اول به عرض پایدار خود نزدیک شده‌اند اما همچنان با عبور جریان تغییراتی در ابعاد آن‌ها، هر چند کم حاصل می‌شود. پس کاهش غلظت رسوب نیز یکی از معیارهای مهم پایداری کانال می‌باشد. در دو ساعت اول، غلظت رسوب محاسبه شده توسط مدل، مقداری بالاتر از متوسط غلظت رسوب کانال است و نرخ عریض شدن در این زمان نیز حداکثر می‌باشد. شکل ۷ نشان

باشد. با این وجود، گرایش به سینوسی شدن در کانال مشاهده شده است که این الگوی سینوسی از بالادست به سمت پایین دست پیش می‌رود و اگر جریان ادامه پیدا کند مارپیچ‌ها به سمت پایین دست می‌رسد.

شیب سطح آب شده است و پس از ۲۴ ساعت، جریان این اختلاف را با آغاز به مارپیچی کردن کانال حل کرده است و در پایین دست کانال، عمق را از بین می‌برد، که ممکن است دلیل تقریباً مستقیم ماندن آن

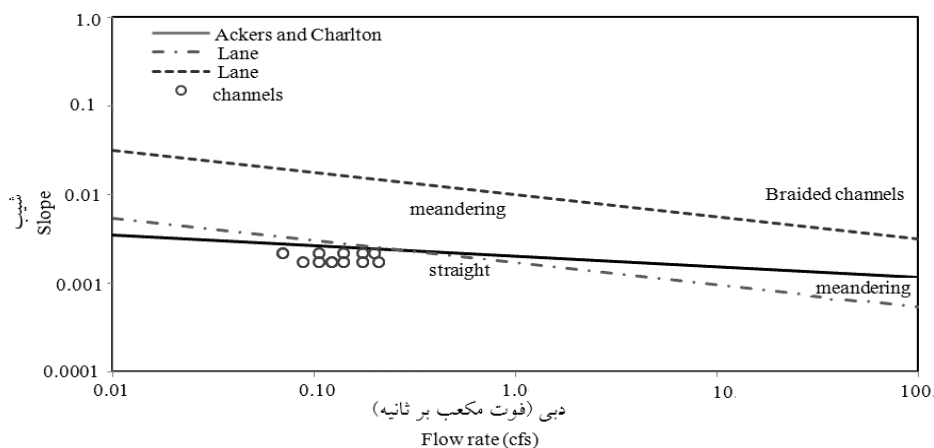


شکل ۹- تغییرات عمق مدل دبی ۵/۷ لیتر بر ثانیه در مدت عبور جریان.

Figure 9. Depth adjustment during developing a model with flow rate of  $5.7 \text{ ls}^{-1}$ .

مشاهده است و عمده تغییرات در ۲ ساعت اول اتفاق می‌افتد که تغییرات ارتفاع در جهت تنظیم شیب بستر کانال و حفظ یکنواختی پروفیل سطح آب می‌باشد. ث- الگوی کانال: اطلاعات این پژوهش در کنار معادله اکرز- چارلتون و رابطه لین در شکل ۱۰ رسم شده است.

در شکل ۹ تغییرات ارتفاع مقطع ذوزنقه کانال در مدت ۲۴ ساعت عبور جریان مقطع پر را می‌توان مشاهده نمود. تغییرات ارتفاع کانال در ۲ ساعت اول جریان اتفاق می‌افتد و پس از ساعت دوم تغییرات تقریباً متوقف گردیده است. نحوه تغییرات در عرض بالا و ارتفاع در شکل ۶ تا شکل ۹ به خوبی قابل مشاهده است. افزایش عرض بالا، کاهش عرض پایین و در نهایت افزایش شیب جانبی در همه مقاطع قابل



شکل ۱۰- نتایج مدل‌سازی در رابطه شیب- دبی و شیب‌های پیشنهاد شده لین (۱۹۵۷) اکرز- چارلتون (۱۹۷۰).

Figure 10. The modeling data in slope-discharge relation and threshold slopes as defined by Lane (1957) and Ackers and Charlton (1970b).

مقطع عرضی آن پس از پایدار شدن در طی یک دوره زمانی ۲۴ ساعته با تغییرات واقعی آزمایشگاهی آن مقایسه گردیده است. نتایج صحت‌سنجی مدل ریاضی، قابلیت و کارایی مناسب مدل ریاضی GSTARS4.0 را در پیش‌بینی تغییرات طولی و عرضی تراز بستر رژیم کانال‌ها نشان می‌دهد.

۴- از آنجا که پایداری برقرار شده در مدل توسط کمینه شدن قدرت جریان، ترکیبی از معیارهای پایداری است، بنابراین براساس نتایج این پژوهش، معیارهای پایداری کانال‌های آبرفتی با دانه‌بندی رسوب و دبی یکنواخت بدین شرح پیشنهاد می‌گردد: الف- پروفیل سطح آب مستقیم و تغییرات در پروفیل سطح آب خیلی کم باشد.

ب- تغییر در عرض سطح آب کم‌تر از ۲٪ در هر ساعت باشد.

پ- غلظت رسوب در انتهای کانال تقریباً یکنواخت باشد.

این معیارها به ترتیب اهمیت و حساسیت بیان شده است. حساس‌ترین معیار پروفیل سطح آب، سپس عرض و در نهایت نرخ انتقال رسوب است.

شکل ۱۰ نشان می‌دهد که خط پیشنهادی اکرز-چارلتون نتایج حاصل از مدل را به خوبی نشان می‌دهد و همه آزمایش‌ها در زیر خط پیشنهادی اکرز-چارلتون (۱۹۷۰ ب) قرار گرفته‌اند.

### نتیجه‌گیری

۱- واسنجی هیدرولیک جریان مدل ریاضی GSTARS4.0 نشان می‌دهد به‌ازای ضریب زبری مانینگ ۰/۰۱۴ بهترین تطابق بین پروفیل سطح آب محاسباتی توسط مدل با مقادیر واقعی رقوم سطح آب کانال به‌ازای دبی جریان ۳ لیتر بر ثانیه ایجاد می‌شود که به مقدار ضریب زبری مانینگ حاصل از رابطه استریکلر نزدیک می‌باشد.

۲- نتایج واسنجی مدل ریاضی GSTARS4.0 یک کانال آزمایشگاهی با بستر ماسه‌ای و  $D_{50}$  تقریباً یک میلی‌متر نشان می‌دهد که تغییرات مقطع عرضی به‌دست آمده از معادله انتقال رسوب ماسه یانگ ۱۹۷۹ تطابق به نسبت مناسبی با تغییرات واقعی کانال دارد.

۳- برای صحت‌سنجی مدل ریاضی، ابعاد مقطع عرضی کانال آزمایشگاهی مدل شده استفاده گردیده است. همچنین یک کانال انتخاب و تغییرات هندسی

### منابع

1. Ackers, P. 1964. Experiments on small streams in alluvium. J. Hydr. Div. 90: 4. 1-37.
2. Ackers, P., and Charlton, F.G. 1970. The slope and resistance of small meandering channels. Proc., Ins. Civ. Eng., Supplement X. Paper 7362 S. 47: 3. 388p.
3. Ackers, P., and Charlton, F.G. 1970. The geometry of small meandering channels. Proc., Ins. Civ. Eng., Supplement XII. Paper 7328 S. 47: 1. 80p.
4. Ayyoubzadeh, S.A. 1997. Hydraulic aspects of straight compound channel flow and bed sediment transport. Ph.D. Thesis, University of Birmingham, Upon Tyne, UK, 220p.
5. Babaeian-Koopaei, K., and Valentine, E.M. 1995a. A rational regime theory: Different combinations of formulae. The second Int. Conf. on Hydro-Science and Eng, Beijing, China. 2: 2037-2044.
6. Babaeian-Koopaei, K., and Valentine, E.M. 1995b. Experimental assessment of rational regime theory. The 26th Congress of IHAR, Thomas Telford London, Hydra-2000. 1: 360-365.
7. 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.

- 8.Chang, H.H. 1985. River morphology and thresholds. ASCE, J. Hydraul. Eng. 111: 3. 503-519.
- 9.Chang, H.H. 1979. Minimum stream power and river channels patterns. J. Hydrol. 41: 303-327.
- 10.Haidera, M.A.T. 2002. The stability of alluvial channels with overbank flow. Ph.D. Thesis, Newcastle University, 230p.
- 11.Leopold, L.B., and Wolman, M.G. 1957. River channel patterns: Braided meandering and straight. U.S Geological Survey Professional. Paper 282-B. 85p.
- 12.Lane, E.M. 1957. Study of the shape of channels formed by Natural streams flowing in erodible material. U.S. Army Eng. Div., Missouri River, Corps Eng., Omaha, Nebr., M.R.D. Sediment series., No. 9.
- 13.Riahi-Madvar, H., and Ayyoubzadeh, S.A. 2008. Predicting alluvial channel geometry using ANN. 4th National Congress on Civil Engineering. Tehran. Iran.
- 14.Shakir, A.S. 1992. An experimental investigation of channel plan forms. Ph.D. Thesis, Newcastle University, UK, 224p.
- 15.Schumm, S.A., and Khan, H.R. 1972. Experimental study of channel patterns. Geol. Soc. America Bulletin. 83: 1755-1770.
- 16.Yang, C.T., and Ahn, J. 2010. GSTARS4.0 User's Manual. Hydro. science and training Center, Colorado State University.
- 17.Zahiri, A.R., Shahinejad, B., and Rostami, S. 2009. Simulation of Karun River Sedimentation using GSTARS 2.0 (A reach between Ahwaz and Farsiat hydrometric stations). Gorgan J. Water Soil Cons. 16: 4. 25-42.



## Simulation of stability of alluvial channels using GSTARS4.0

Gh.R. Azizyan<sup>1</sup>, Gh.H. Akbari<sup>1</sup>, \*R. Mir<sup>2</sup> and R. Bozorgmehr<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan,  
<sup>2</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan

Received: 05/08/2013; Accepted: 10/30/2013

### Abstract

**Background and Objectives:** The first step to predict reaction of alluvial rivers against natural and man-made changes is to know and to predict stable geometry of rivers. One of the most important problems in civil engineering in relation to irrigation projects, river engineering and hydraulic projects is determining of stable cross section geometry, slope and stability criterion for alluvial channels or rivers. The purpose of present paper is to study geometric parameters, equilibrium criteria and stability approaches for stable alluvial channels.

**Materials and Methods:** A laboratory channel has been modeled with GSTARS4.0, which is developed based on theory of total stream power minimization. This mathematical model using concept of stream tubes is able to simulate sedimentation pattern in the rivers quasi two-dimensionally. For hydraulic calibration, the mathematical model is run for different discharges and Manning roughness coefficients. Then, the computational water surface profile is compared with the actual water surface elevation on the channel. Using the water surface elevations for different discharges, the Manning roughness coefficients of the channel are selected such that the channel dimensions calculated by the model are consistent with the actual value for certain discharge and water level. Comparisons demonstrate a good agreement between computational and observed water surface elevations for the Manning roughness coefficients of  $n=0.014$ . For sediment calibration of this mathematical model, cross section geometry has been used. For this purpose, the stability angle of the bed materials is considered equal to the experimental value ( $\phi=33^\circ$ ). Then, the changes in laboratory channel cross-section are simulated for different empirical correlations in GSTARS mathematical model. The simulation results are compared with the experimental cross section. Yang's sand sediment transport equation (1979) is in good agreement with experimental observations as compared with other correlations. Some of data that had not been used for calibration is used to verify the model. In the final step, the main parameters of top and bottom width of channel are predicted by correlation coefficients of 0.975 and 0.942 respectively.

**Results:** The alluvial channels adjust the hydraulic geometry to make a balance among flow and sediment. In the first 2 to 3 hours duration of experiment, aggradation and degradation of the channel banks and bed was high and consequently a considerable value of sediment transport and widening rate was observed, then it eventually declined. Increasing the width of the top, decreasing the width of the bottom, and finally raising the side slope at all models can be seen. Major changes, consist of adjustment of the slope of the channel bed and also holding constant uniformity of profile of water surface, happen in the first 2 hours of experiment. In order to distinguish between straight channels, straight channels with shoals and meandering channels, presented models are plotted against Ackers-Charlton and lane lines. The channels are located below the lines and are straight.

**Conclusion:** The research shows capabilities and good performance of GSTARS4.0 mathematical model to forecast longitudinal and transversal changes of channel regime bed. Afterwards, stability criteria such as width adjustment, water surface adjustment (straight energy slope) and sediment transport rate uniformity which presented by various researchers were studied. It was concluded that all of the mentioned criteria had occurred in all of the models. Therefore a combination of these criteria proposed for stability of regime channels.

**Keywords:** Stable channel, Channel pattern, Bed slope, Stream power, GSTARS4.0

---

\* Corresponding Author; Email: [mir\\_reza62@yahoo.com](mailto:mir_reza62@yahoo.com)