

گزارش فنی

مقدمه

هندسه هیدرولیکی یک رودخانه، اهمیت اساسی در طراحی، برنامه‌ریزی، مدیریت و ساماندهی رودخانه در علم مهندسی رودخانه دارد. واژه «هندسه هیدرولیکی» به روابط بین شکل متوسط یک کانال در حالت موضعی^۲ و بازه‌ای^۳ در یک شبکه کانال در یک حوضه هیدرولوژیکی همگن دلالت می‌کند. شکل یک کانال شامل هندسه متوسط مقطع آن (عرض و عمق متوسط مقطع، طول مئاندر) و متغیرهای هیدرولیکی که شامل شیب متوسط، اصطکاک متوسط، و سرعت متوسط برای یک حجم ورودی آب و رسوب مشخص در یک کانال با شرایط مرزی خاص می‌باشد.

چندین روش برای پیش‌بینی هندسه پایدار با نام‌های روابط تجربی، شیوه‌های نیمه‌نظریه، روش‌های اکسترال (حدی) و شیوه مکانیکی (منطقی) توسط محققین توسعه داده شده است شیرخانی [۵]. با این حال، به دلیل کمبود دانش در زمینه فرآیندهای فیزیکی تغییر شکل کانال، تاکنون هیچ یک از روش‌ها مورد پذیرش کلی واقع نشده‌اند. شیرخانی [۵] این روش‌ها را مورد ارزیابی جامع قرار داده است.

به طور کلی روابطی که برای پیش‌بینی هندسه هیدرولیکی کانال وجود دارند و برای استخراج آنها از معادلات تجربی کمک گرفته می‌شود در این دسته جای می‌گیرند. برای مشخص شدن عامل‌های هندسه پایدار یک مقطع می‌توان شکل (۱) را در نظر گرفت.

در این پژوهش با استفاده از پیشنهاد شکل کسینوسی حاصل از تئوری مقطع پایدار لین [۳] جهت مقطع کانال، ابتدا مدل سویچ [۴] را که مدلی مفهومی و غیرکاربردی است، توسعه داده و از آن روابطی کاربردی جهت محاسبه عرض و عمق متوسط کانال استخراج گردیده است. سپس با استفاده از یک مجموعه داده صحرایی و آزمایشگاهی مربوط به کانال‌های با بستر ماسه‌ای که از مطالعات پژوهشگران مختلف گردآوری شده، روابط بدست آمده صحت سنجی و مورد ارزیابی واقع می‌شوند.

مواد و روش‌ها

معرفی مدل تئوری

لین [۳] نخستین کسی بود که نظریه مقطع پایدار را توسعه داد. وی با در نظر گرفتن تعادل نیروهای وارد بر ذرات مصالح مقطع (نیروی

مدل نیمه‌نظری پیش‌بینی مقطع پایدار رودخانه‌های با بستر ماسه‌ای

امیر بهرامی فر^۱، رضا شیرخانی و میرعلی محمدی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۱۴

چکیده

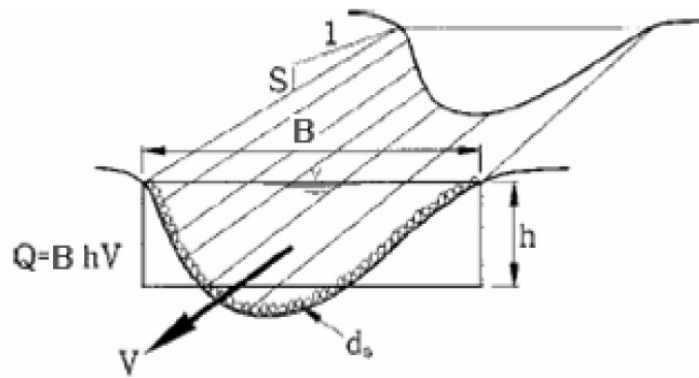
طراحی مناسب کانال‌ها و پیش‌بینی مقاطع پایدار رودخانه‌ها، سبب کاهش هزینه‌های اقتصادی و جلوگیری از تخریب تأسیسات مجاور و همچنین زمین‌های کشاورزی کناره رودخانه می‌شود. پژوهشگران شیوه‌های مختلفی جهت دستیابی به روابطی برای پیش‌بینی هندسه پایدار کانال‌ها و رودخانه‌ها به کار گرفته‌اند. یکی از این شیوه‌ها به روش مکانیکی موسوم است. در این پژوهش، با استفاده از تعریف مقطع پایدار کانال به شکل کسینوسی، روابطی جهت پیش‌بینی عرض و عمق متوسط جریان استخراج شده است. روابط استخراج شده با استفاده از یک مجموعه داده‌ها شامل ۹۳ داده آزمایشگاهی و ۱۲۶ داده صحرایی مربوط به کانال‌های با بستر ماسه‌ای، مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. روابط بدست آمده نشان می‌دهند که عرض و عمق متوسط کانال با توان ۰/۴۱۵ و سرعت متوسط جریان با توان ۰/۱۷ دبی مقطع بر کانال متناسب هستند. نتایج ارزیابی این روابط نشان می‌دهد که پیش‌بینی توسط روابط، تطابق تا حدود خوب با داده‌های آزمایشگاهی و صحرایی دارند.

واژه‌های کلیدی: رودخانه بستر ماسه‌ای، مقطع پایدار، روش مکانیکی، هندسه هیدرولیکی بازه‌ای.

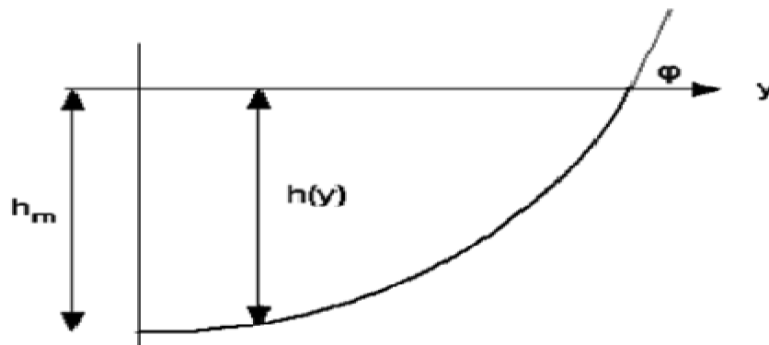
2- At-a-Station hydraulic geometry

3- Downstream hydraulic geometry

۱- دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی سهند Bahramifar.amir@gmail.com



شکل ۱- تعریف عامل‌های مقطع پایدار



شکل ۲- طرح مقطع پایدار کانال با کناره کسینوسی

فوق ابتدا روابط مشخصی جهت پیش بینی عرض و عمق تعادلی با ساده‌سازی روابط ۲ و ۳ پیشنهاد شده و سپس روابط از ضمنی بودن خارج شده تا در نهایت به روابطی برسیم که بتوان از آنها جهت پیش بینی بهره بگیریم.

جهت محاسبه عمق متوسط کانال بایستی سطح مقطع کانال را بر عرض کانال تقسیم کنیم (شکل ۱). بنابراین با تقسیم طرف دوم رابطه ۸ بر طرف دوم رابطه ۹ برای محاسبه عمق متوسط کانال داریم:

$$h = \frac{A}{B} = \frac{2h_m^2 \tan \phi}{\pi h_m \tan \phi} = \frac{2h_m}{\pi} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در ادامه برای حذف \$h_m\$ از روابط ۲ و ۳ بایستی از مساوی قرار دادن مقادیر \$h_m\$ بدست آمده از دو رابطه مطابق ذیل بهره گرفت:

$$h_m = \frac{B \tan \phi}{\pi} \quad \text{حاصل از رابطه ۲}$$

$$h_m = \frac{\pi h}{2} \quad \text{حاصل از رابطه ۳}$$

بنابراین با مساوی قرار دادن روابط فوق و حذف \$h_m\$ از رابطه، رابطه ۴ بدست می‌آید که رابطه بین \$h\$ و \$B\$ را به صورت زیر نشان می‌دهد.

$$h = \frac{2 \tan \phi}{\pi^2} B \quad \text{رابطه (۵)}$$

ثقل و نیروی کشش)، رابطه کسینوسی زیر را برای هندسه پایدار مقطع پیشنهاد داده است.

$$\frac{h(y)}{h_m} = \cos\left(\frac{\tan \phi}{h_m} y\right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه‌ی فوق \$h(y)\$ تابع تعریف عمق کانال، \$h_m\$ حداکثر عمق در مرکز کانال و \$\phi\$ زاویه اصطکاک داخلی مصالح (زاویه قرارگیری مصالح) در آب است (شکل ۲).

توسعه مدل نیمه تئوری و استخراج روابط

در این مطالعه از طرح شکل کسینوسی مقطع کانال پایدار لین [۳] استفاده شده است. سویچ [۴] با انتگرال‌گیری بر روی مرزهای مقطع تعریف شده فوق و استفاده از رابطه (۱)، سطح مقطع کانال و عرض کانال را به صورت زیر استخراج و پیشنهاد کرده است.

$$A = \frac{2h_m^2}{\tan \phi} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$B = \frac{\pi h_m}{\tan \phi} \quad \text{رابطه (۳)}$$

همانگونه که روابط فوق نشان می‌دهند، این روابط کلی بوده و در عمل غیرکاربردی هستند. در ادامه جهت کاربردی شدن روابط

با توجه به محاسبات انجام شده، عرض کانال از رابطه ۱۱، عمق متوسط کانال از رابطه ۱۲ و سرعت متوسط جریان از رابطه ۱۰ بدست می‌آید.

نتایج و بحث

۳-۱- معرفی داده‌ها

به منظور صحت‌سنجی روابط استخراج شده در این مقاله برای پیش بینی هندسه تعادلی رودخانه‌های با بستر ماسه‌ای از یک مجموعه داده صحرائی ۱۲۶ تایی مربوط به رودخانه‌های با بستر ماسه‌ای و به منظور کارایی روابط در طراحی کانال‌های با بستر ماسه‌ای در حالت رژیم از یک مجموعه داده آزمایشگاهی ۹۳ تایی در حالت مقطع پر استفاده شده است. داده‌های صحرائی از مطالعات چرج و رود [۱]، وان در برگ [۷] و سوار و ثرون [۶] و داده‌های آزمایشگاهی نیز از مطالعات آزمایشگاهی شیرخانی [۵] انتخاب شده‌اند. از لحاظ طبقه‌بندی مصالح بستر، رودخانه‌ها و کانال‌های با اندازه متوسط ذرات کمتر از ۲ میلیمتر، ماسه‌ای در نظر گرفته شده است.

صحت‌سنجی روابط

با استفاده از مجموعه داده معرفی شده در قسمت قبل روابط استخراج شده جهت پیش‌بینی عرض کانال، عمق متوسط جریان و سرعت متوسط جریان براساس معیار محدوده خطای ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. جدول ۱ خلاصه نتایج بدست آمده از این ارزیابی را نشان می‌دهد. در این جدول درصد خطای روابط به صورت زیر محاسبه شده است.

$$Error = 100 \times \frac{(X_p - X_a)}{X_a}$$

در رابطه فوق X_a مقدار واقعی عامل و X_p مقدار پیش‌بینی شده عامل است. همانگونه که جدول ۱ نشان می‌دهد روابط استخراجی تطابق نسبتاً خوبی با داده‌های صحرائی دارند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه با استفاده از دو شیوه مکانیکی و نیمه‌نظری و با

با در نظر گرفتن رابطه پیوستگی جریان به شکل رابطه ۶، عرض کانال با جایگذاری طرف دوم رابطه ۵ به جای h در رابطه ۶ در نهایت به شکل رابطه ۱۳ حاصل می‌شود.

$$Q = BhV \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$B = \sqrt{\frac{\pi^2}{2V \tan \phi}} Q^{0.5} \quad \text{رابطه (۷)}$$

همچنین با جایگذاری طرف دوم رابطه ۷ به جای B در رابطه ۵، عمق متوسط کانال در نهایت به شکل رابطه ۸ استخراج می‌شود.

$$h = \frac{\sqrt{2 \tan \phi}}{\pi \sqrt{V}} Q^{0.5} \quad \text{رابطه (۸)}$$

با توجه به اینکه روابط ۷ و ۸ به زاویه اصطکاک داخلی مصالح (زاویه قرارگیری مصالح) در آب و همچنین سرعت جریان وابسته هستند، جهت رفع وابستگی روابط به ϕ و همچنین صریح کردن روابط و خروج آنها از حالت ضمنی به دلیل وجود عامل سرعت جریان در طرف راست روابط، بایستی به روشی آنها را حذف و یا ساده کرد.

سی یو آر [۲] با مطالعه در رودخانه‌ها و دماغه‌های با بستر ماسه‌ای کشور هلند و با انجام همبستگی روی داده‌های صحرائی رابطه ۹ را برای پیش‌بینی $\tan \phi$ پیشنهاد داده است.

$$\tan \phi = 5.4 \times 10^5 D_{50}^{1.88} \quad \text{رابطه (۹)}$$

در رابطه ۹ فوق، منظور از D_{50} قطری از مصالح است که مقدار ۵۰ درصد از مصالح از آن ریزتر هستند. همچنین شیرخانی [۵] با استفاده از مطالعه آزمایشگاهی بر روی کانال با بستر ماسه‌ای در حالت رژیم رابطه ۱۰ را برای محاسبه سرعت متوسط جریان کانال‌های پایدار پیشنهاد داده است.

$$V = 0.75Q^{0.17} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

نهایتاً با جایگذاری روابط ۹ و ۱۰ در روابط ۷ و ۸ روابط زیر برای محاسبه عرض و عمق متوسط کانال‌های با بستر ماسه‌ای پیشنهاد می‌شود.

$$B = (3.49 \times 10^{-3} D_{50}^{-0.94}) Q^{0.415} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$h = (381.97 D_{50}^{0.94}) Q^{0.415} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

جدول ۱- خلاصه نتایج صحت‌سنجی روابط استخراج شده

عامل	رابطه	درصد پیش‌بینی در محدوده خطای					
		داده‌های صحرائی			داده‌های آزمایشگاهی		
		۲۰ درصد	۵۰ درصد	۱۰۰ درصد	۲۰ درصد	۵۰ درصد	۱۰۰ درصد
عرض	$B = (3.49 \times 10^{-3} D_{50}^{-0.94}) Q^{0.415}$	۱۶/۷	۵۵/۶	۹۲/۱	۲۳/۷	۴۵/۲	۷۵/۳
عمق متوسط جریان	$h = (381.97 D_{50}^{0.94}) Q^{0.415}$	۲۳/۸	۵۴/۸	۸۴/۱	۰	۲۵/۸	۸۳/۹
سرعت متوسط جریان	$V = 0.75Q^{0.17}$	۶/۳	۲۰/۶	۹۵/۲	۶۶/۷	۱۰۰	۱۰۰

3- Lane, E. W., (1955), "Design of stable canals. Transactions", ASCE, Vol. 120, pp. 1234-1260.

4- Savenije, H. H. G. (2003) "The width of a bankfull channel; Lacey's formula explained" Journal of Hydrology, Vol. 276, pp. 176-183

5- Shirkhani, R. (2010) "An experimental study of effect of flow variation on river bank erosion" M.Sc. Thesis, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran. (In Persian)

6- Soar, P. J. and Thorne, C. R., (2001), "Channel restoration design for meandering rivers", Report ERDC/CHL CR-01-1, Coastal Hydraulics Laboratory, U. S. Army Corps of Engineers Engineer Research and Development Center, 416 p.

7- Van den Berg, J. H. (1995), "Prediction of alluvial channel pattern of perennial rivers" Geomorphology, Vol.12, pp. 259-279

تعریف مقطع پایدار کانال به شکل کسینوسی روابطی جهت پیش‌بینی هندسه پایدار رودخانه‌های با بستر ماسه‌ای توسعه یافت. این روابط در بدست آوردن عرض، عمق متوسط و سرعت متوسط جریان کاربرد دارند. نتایج ارزیابی این روابط در کانال‌های با بستر ماسه‌ای که با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و صحرایی صورت گرفته است نشان داد که روابط توسعه یافته تطابق نسبتاً خوبی با داده‌ها دارند. روابطی که در این مطالعه استخراج شده‌اند نشان می‌دهند که عرض و عمق متوسط کانال با توان $0/15$ و سرعت متوسط جریان نیز با توان $0/17$ دبی مقطع پر کانال متناسب هستند. با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته محدوده کاربری روابط استخراجی در محدوده عرض $0/1$ تا 1000 متر، عمق متوسط $0/1$ تا 15 متر، سرعت متوسط جریان $0/1$ تا 7 متر بر ثانیه و دبی مقطع پر $0/1$ تا 17000 مترمکعب بر ثانیه پیشنهاد می‌شود.

منابع

1- Church, M., and Rood, R., (1983), "Catalogue of alluvial river channel regime data" Rep. Dept. of Geography, Univ. of British Columbia, Vancouver, Canada.

2- CUR, (1992) "Artificial sand fills in water" Centre for engineering and codes (CUR), Report 152, Gouda, The Netherland.