

دبی جریان و شیب خط انرژی در کانال های مرکب

آرش عسگری¹، میرعلی محمدی^{2*} و محمد مناف پور³

تاریخ دریافت: 89/6/31 تاریخ پذیرش: 89/11/16

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، سازه های هیدرولیکی، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه

2 و 3- دانشیار و استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه

* مسئول مکاتبه E-mail: m.mohammadi@urmia.ac.ir

چکیده

به منظور بررسی ساختار و رفتار هیدرولیکی جریان در رودخانه ها و کانال های مرکب، دبی و شیب خط انرژی اهمیت بالایی دارند. با تقسیم مقطع عرضی این کانال ها به زیر ناحیه های آن یعنی کانال اصلی و بسترهای سیلابی، دبی جریان به صورت جداگانه در هر زیر ناحیه قابل تعیین است و آنگاه دبی کل مقطع از مجموع آنها بدست می آید. این روش به روش کانال تقسیم شده (DCM) معروف است. روش دیگری نیز به روش کانال ساده (SCM) موسوم است. روش های متعددی بر مبنای روش تقسیم بندی در مقطع کانال توسعه یافته اند که از مهم ترین آنها روش مدل تبادل دبی (EDM) می باشد. این روش با در نظر گرفتن تأثیر انتقال مومنتم از میان سطح مشترک بین کانال اصلی و بستر سیلابی (سطح اندرکنش) توسعه داده شده است. در این تحقیق، محاسبات دبی و شیب خط انرژی برای سری آزمایش های مؤسسه FCF انگلستان و سایرین، با به کارگیری روش های EDM، DCM و SCM و با برنامه سازی رایانه ای به زبان ++C انجام پذیرفت. نتایج حاصل نشان داد که در مقایسه با سایر روش ها، روش EDM دارای کمترین خطای نسبی برای محاسبه دبی (در ترسیم نمودار دبی-اشل) است. همچنین نتایج محاسبه شیب خط انرژی به روش EDM و نرم افزار HEC-RAS نشان می دهد که روش EDM دارای کمترین خطای نسبی برای ترسیم شیب خط انرژی است. دو معادله ساده خطی برای عمق های نسبی کمتر از 0/15 و بیشتر از 0/15 ارائه شد. بدین ترتیب، روش EDM را به میزان قابل توجهی حدود 36% برای محاسبه دبی جریان و 34% برای محاسبه شیب خط انرژی بهبود بخشیده است.

واژه های کلیدی: انتقال مومنتم، کانال مرکب، مدل تبادل دبی، دبی-اشل، شیب خط انرژی

Flow Discharge and Energy Grade-line in Compound Channels

A Asgari¹, M Mohammadi^{2*} and M Manafpur³

Received: 22 September 2010 Accepted: 05 February 2011

¹MSc, Student, Hydraulic Structures, Faculty of Engin., Urmia University, Iran

^{2,3}Assoc. and Assist. Prof., Faculty of Engin., Urmia University, Iran

* Corresponding author: Email: m.mohammadi@urmia.ac.ir

Abstract

In order to explore the structure and hydraulic behavior of rivers and compound channels, discharge and energy grade-line are of great importance. By dividing a cross sectional shape of those channels to its sub-sections, e.g. the main channel and floodplains, flow discharge is computed for each section and then flow discharge is determined for the whole section. This method is called as Divided Channel Method (*DCM*) and there is another method called Simple Channel Method (*SCM*). On the basis of dividing channel method some other methods are also developed, where the important one is the method of Exchange Discharge Model (*EDM*). The method of *EDM* is developed by using the effects of momentum transfer on the interaction surface between the main channel and floodplain. In this research, the flow discharge and energy grade-line are computed for the data collected from the Flood Channel Facility (*FCF*) of England and elsewhere applying *SCM*, *DCM* and *EDM* methods, in which a C++ computer programming was used. The results show that the *EDM* method gives the lowest relative error compared with the other methods (for establishing stage-discharge curves). Also, using *EDM* method and *HEC-RAS* software, the results for computing energy grade-line (e.g.l.), the method of *EDM* reveals the lowest relative error for establishing e.g.l. curves. Two simple linear equations are presented for relative depths lower and upper than 0.15. It therefore gives dramatic welfare results about 36% for estimating flow discharge and 34% for estimating energy grade-line.

Keywords Compound channel, Energy grade-line, Exchange discharge model, Momentum transfer, Stage-discharge

کانال‌های ساده (با شکل هندسی منفرد) تغییر ناگهانی در مساحت، محیط تر شده و شعاع هیدرولیکی جریان رخ نمی‌دهد، در حالی که کانال‌های با مقطع عرضی مرکب دارای یک کانال اصلی و یک یا دو بستر سیلابی می‌باشند، از این رو چنین کانال‌هایی را کانال مرکب یا

مقدمه

کانال‌های جمع‌آوری و انتقال آب به صورت مقاطع عرضی ساده¹ و یا مرکب² طراحی می‌شوند، در

¹ Single channel

² Compound channel

بعدی بودن این مدل بهره‌گیری از آن را آسان تر می‌کند. لذا بایستی دقت این روش مورد ارزیابی قرار گیرد. ویژگی بارز دیگر روش EDM، فرمول‌بندی آسان آن به صورت افزودن یک افت ارتفاع اضافی به افت‌های اصطکاکی برآورد شده با روش کانال تقسیم‌بندی شده (DCM)⁴ می‌باشد. لازم به توضیح است که روش کانال منفرد (SCM)⁵ مقطع عرضی کانال را به صورت یک مقطع واحد در نظر می‌گیرد ولی DCM مقطع عرضی کانال مرکب را به زیر ناحیه‌ها یعنی کانال اصلی و بسترهای سیلابی تقسیم‌بندی می‌کند. برای انجام آزمایش‌ها روی کانال‌های مرکب با مقیاس بزرگ، تسهیلات کانال سیلابی (FCF)⁶ در مرکز تحقیقات هیدرولیک انگلستان - والینگفورد ساخته شده است.

به کمک داده‌های مؤسسه FCF و مدل‌سازی آنها با نرم افزار HEC-RAS که نرم‌افزاری بر مبنای DCM می‌باشد و زبان برنامه‌سازی ++C، نتایج حاصل از EDM با نتایج حاصل از مدل‌های دیگر از جمله SCM و DCM مقایسه می‌شوند تا دقت آن مورد ارزیابی قرار گیرد و برای روش EDM اعتبار گرفته شود. همان طور که بیان شد مبنای نظری روش EDM مشخصه بارز و نقطه قوت آن می‌باشد و در مقابل، دو ضریب تجربی آن را که در تشکیل معادلات مدل به صورت عامل‌های تناسب به وجود می‌آیند، به عنوان نقطه ضعف آن می‌توان شناخت. به کمک نتایج حاصل از آزمایش‌های مؤسسه FCF، ضرایب تجربی روش EDM مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد تا بتوان فرمولی برای تعیین آن ضرایب در آزمایش‌های مختلف ارائه داد.

دو مرحله‌ای¹ می‌نامند (محمدی 1386). در کانال‌های مرکب با افزایش تراز آب و عبور آن از تراز کانال اصلی پر²، جریان وارد بسترهای سیلابی (مرحله دوم) می‌گردد که در هنگام عبور تراز آب از تراز کانال اصلی پر، تغییرات ناگهانی در هندسه و هیدرولیک جریان رخ می‌دهد آنگاه اندرکنش بین جریان در کانال اصلی و بسترهای سیلابی به وجود می‌آید و باعث دشواری و پیچیدگی بررسی رفتار جریان در یک کانال مرکب نسبت به کانال ساده می‌گردد. رودخانه‌ها نمونه بارزی از کانال‌های مرکب می‌باشند. مهندسین رودخانه در هنگام مدل‌سازی هیدرولیکی سیلاب بایستی نحوه گسترش سیل در طول رودخانه، شناسایی اراضی و مناطقی که تحت پوشش سیل قرار می‌گیرند، موضوع خطر شکست دیواره‌های ساحلی رودخانه‌ها و موارد مختلف دیگری را مد نظر قرار دهند. تقریباً در تمامی موارد رابطه دبی- اشل برای مقطع عرضی در بازه مشخص یکی از اساسی‌ترین مؤلفه‌های مورد نیاز جهت طراحی و حل مسائل رودخانه‌ها می‌باشد. با وجود این که برآورد و تعیین تراز آب مربوط به یک دبی معین در یک مقطع عرضی ساده و منفرد موضوعی نسبتاً ساده است ولی هنگامی که جریان در یک مقطع مرکب و به صورت فراتر از کانال اصلی جاری باشد مسئله پیچیده تر می‌گردد.

مدل تبادل دبی (EDM)³، مدلی نسبتاً جامع و یک بعدی جهت بررسی رفتار هیدرولیکی جریان در کانال‌های مرکب و رودخانه‌ها می‌باشد که در سال 2002 میلادی توسط بوسمر و زیک ارائه شده است (عسگری 1389). روش EDM روشی بر مبنای تئوری است که آن را می‌توان به کانال‌هایی با مقیاس‌های مختلف و شرایط گوناگون جریان تعمیم داد. از سوی دیگر یک

⁴ Divided channel method

⁵ Single channel method

⁶ Flood channel facility, Wallingford, England

¹ Two stage channel

² Bankfull level

³ Exchange discharge model

تجربی است که می بایستی در معادلات EDM واسنجی و برآورد شوند. اصولاً مقادیر متفاوتی را بایستی برای این دو ضریب در محاسبات مربوط به هر مسئله و هر سری داده تخصیص داد. هدف این تحقیق، محدود به کانال‌های مرکب مستقیم، منشوری و فاقد رسوب بوده که انتقال دهنده جریان دائمی می‌باشند، لذا تنها روی یک ضریب تجربی تأکید می‌شود که ضریب مربوط به تبادل آشفتگی می‌باشد. واسنجی این ضریب را در سری داده‌های بدست آمده از آزمایش‌های انجام گرفته روی کانال سیلابی انجام داده و با ارائه معادله‌ای جهت برآورد این ضریب، نتایج حاصل از روش EDM با سایر روش‌ها به ویژه مدل نرم افزار HEC-RAS مقایسه می‌شود.

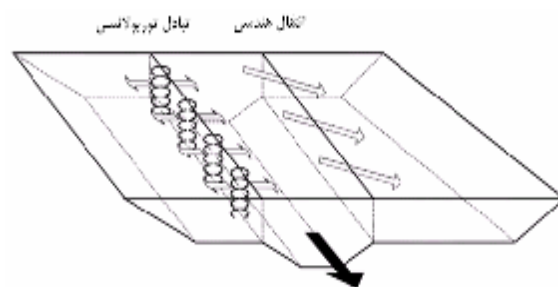
روش مدل تبادل دبی (EDM)

ویژگی بارز روش EDM آن است که فرمول بندی آن با افزودن یک افت ارتفاع اضافی به افت‌های اصطکاکی برآورد شده با DCM شکل می‌گیرد. در حقیقت اگر چه برآورد رابطه دبی-اشل هدف اصلی روش EDM می‌باشد ولی استفاده آن در مدل‌های محاسبه نیمرخ آب نیز مهم است. هر زیر ناحیه یک کانال مرکب به صورت یک دبی جانبی در واحد طول، q_i عمل می‌کند که به یک مؤلفه جریان ورودی، q_{in} و یک مؤلفه جریان خروجی، q_{out} تجزیه می‌شود، طوری که می‌توان قانون بقای جرم را به صورت زیر نوشت:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_i = q_{in} - q_{out} \quad [1]$$

که در آن A مساحت مقطع عرضی و Q دبی جریان می‌باشد. در مورد انتقال هندسی، جریان‌های ورودی و-خروجی به صورت دو به دو ناسازگارند (یعنی وقتی یکی هست آن دیگری به صورت اتوماتیک وجود ندارد).

بعد از اولین کارهای تحقیقاتی انجام یافته سلین (1964) محققان زیادی رفتار هیدرولیکی جریان در کانال‌های مرکب را مورد مطالعه قرار داده‌اند و چندین روش محاسباتی نیز جهت مدل نمودن رابطه دبی-اشل پیشنهاد داده اند. از آن میان دو مدل اعتبار بیشتری کسب کرده‌اند: مدل آکرز (1993) و فرم‌های مختلف روش توزیع جانبی (LDM)¹. روش EDM که توسط بوسمر و زیک در سال 2002 ارائه شده است همان روش جایگزین برای روش‌های آکرز و LDM می‌باشد که انتقال مومنتم بین کانال اصلی و بسترهای سیلابی را به صورت متناسب با گرادیان سرعت بین زیر ناحیه-ها و مبادله دبی در سطح مشترک این زیر ناحیه‌ها را برآورد و تعیین می‌نماید. روش EDM از مبادله آشفتگی در جریان یکنواخت یعنی انتقال جرم توسط ساختارهای آشفتگی همچون گرداب‌های بزرگ با محورهای عمودی و همچنین از انتقال خالص جرم در کانال‌های غیر منشوری به خاطر تغییرات هندسی سرچشمه می‌گیرد (شکل 1، بوسمر و زیک 1999).



شکل 1- تبادل جریان در روش مدل تبادل دبی (EDM)

(بوسمر و زیک 1999).

اساس معادلات روش EDM که مبتنی بر تأثیرات انتقال مومنتم است، به صورت افت اضافی بایستی به افت ارتفاع ناشی از اصطکاک بستر افزوده شود (بوسمر و زیک 2001). این روش دارای دو ضریب

¹ Lateral distribution method

$$S_e = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{U^2}{2g} + z_n \right) = S_f + \frac{q_{in,r}(U - u_{z,r}) + q_{in,l}(U - u_{z,l})}{gA} \quad [4]$$

که در آن به منظور کاربرد بیشتر معادله روی هر زیر ناحیه کانال مرکب، جریان جانبی ورودی به جریان ورودی از سمت راست، r ، و جریان ورودی از سمت چپ، l ، تجزیه شده است. شیب S_a به عنوان افت بار اضافی ناشی از تبدلات دبی در سطح مشترک تعریف می شود که بایستی در هر زیر ناحیه به ارتفاع معادل اصطکاک افزوده شود. با تعریف نسبت $\chi = S_a/S_f$ یعنی نسبت افت اضافی به افت اصطکاک، معادله بالا به صورت زیر نوشته می شود (بوسمر و زیگ 2002).

$$S_e = S_f + S_a, \quad \chi = S_a/S_f, \quad S_e = S_f(1 + \chi) \quad [5]$$

$$\chi = \frac{q_{in,r}(U - u_{z,r}) + q_{in,l}(U - u_{z,l})}{gAS_f} \quad [6]$$

در یک کانال مرکب بایستی نسبت افت اضافی و شیب اصطکاک در هر زیر ناحیه i به ترتیب با اسامی S_{fi} و χ_i تعریف شوند. به هر حال شیب انرژی کل، S_e ، در هر زیر ناحیه با هم برابر است. این فرضیه به این معنی است که رودخانه در دو جهت طول و عرض انرژی خود را طوری تنظیم می کند که تفاوت زیادی بین ارتفاع های کلی موجود در زیر ناحیه های مجاور رخ ندهد (بوسمر و همکاران 1998).

برای ارزیابی این مدل یک بعدی، دبی مبادله شده q به دو قسمت تبدیل می شود: قسمت اول q^1 که مربوط به جریان مومنتم ناشی از تلاطمی یا آشفتگی جریان است و قسمت دوم q^2 مربوط به انتقال جرم به علت تغییرات در شکل هندسی است. در واقع روش مدل تبادل دبی (EDM) صرفاً با دو پارامتر تجربی درگیر است: پارامتر ψ^1 ضریب تناسب برای تبادل ناشی از آشفتگی

ولی در مورد انتقال ناشی از آشفتگی جریان هر دو مؤلفه ورودی و خروجی به صورت همزمان در نظر گرفته می شوند که برآیند انتقال جرم صفر می شود ولی انتقال مومنتم صفر نیست.

با استفاده از اصل بقای مومنتم: میزان خالص جریان مومنتم به داخل یک حجم کنترل برابر با میزان انباشتگی مومنتم در آن حجم است، معادله مومنتم برای طول واحد به صورت زیر نوشته می شود:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho AU) = -\frac{\partial}{\partial x} (\rho AU^2) + \rho q_{in,l}U - \rho q_{in,r}U + \rho gA(S_e - S_f) - \rho gA \frac{q\pi}{\partial x} \quad [2]$$

که در آن ρ چگالی جرمی آب، g شتاب گرانشی، S_a و S_f به ترتیب شیب کف بستر و شیب اصطکاک، $U=Q/A$ سرعت متوسط در مقطع مورد نظر، H کل عمق آب و u_L مؤلفه سرعت جریان جانبی (ورودی) در جهت جریان اصلی می باشد، که در نهایت می توان نوشت:

$$A \frac{\partial U}{\partial t} + gA \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon + \frac{U^2}{2g} \right) = q_{in,l}(u_L - U) - gAS_f \quad [3]$$

این معادله نشان می دهد که فقط جریان جانبی ورودی روی مومنتم تأثیر می گذارد، در صورتی که جریان خروجی به صورت غیر صریح و ضمنی در تغییرات ارتفاع معادل انرژی جنبشی آورده شده است. نتیجه مهم این عدم تقارن بین جریان های ورودی و خروجی این است که انتقال مومنتم ناشی از آشفتگی جریان حتی در هنگام میانگین انتقال جرم صفر نیز وجود دارد. در مورد جریان دائمی جمله اول معادله 3 حذف می شود و مشتق جزئی در جمله دوم البته با علامت منفی به عنوان افت در واحد طول K_e می تواند معرفی گردد:

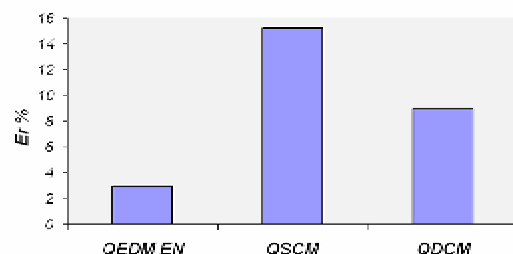
نتایج و بحث

محاسبات دبی و شیب خط انرژی

الف - محاسبه دبی

برای آزمایش‌های فاز A تسهیلات کانال سیل EDM (FCF-Phase A) با روش‌های SCM، DCM و انجام شد. در هر یک از روش محاسبه دبی برای هر آزمایش صورت گرفت و مقدار خطای نسبی بدست آمده با متوسط‌گیری قدر مطلق خطاهای نسبی آزمایش‌های انجام گرفته در هر سری FCF، در نهایت خطای نسبی متوسط هر سری تعیین گردید. نتایج حاصل (جدول 1) نشان می‌دهد در هر یک از سری‌ها، روش EDM دارای کمترین خطای نسبی متوسط برای محاسبه دبی می باشد. در انتها با متوسط‌گیری از این مقادیر (شش خطای متوسط برای شش سری آزمایش) می‌توان خطای متوسط کلی هر سه روش را که در واقع میانگین خطاهای نسبی تمام آزمایش‌های مورد مطالعه فاز A تسهیلات کانال سیل (جدول 1) است، مقایسه نمود. این مقادیر در شکل 2 ارائه شده‌اند که نشان می‌دهند در کل خطای نسبی محاسبه دبی با روش EDM کمترین مقدار را دارد و بیشترین خطا مربوط به SCM است.

Mean Absolute Er



شکل 2- متوسط قدرمطلق خطاهای نسبی محاسبه دبی به روش-

های مختلف برای آزمایش‌های سری‌های (FCF) فاز A: 01.

02, 03, 06, 08 و 10

این شکل در واقع متوسط قدرمطلق خطاهای نسبی محاسبه دبی با هر سه روش را برای تمامی آزمایش‌های سری (FCF) شامل 01, 02, 03, 06, 08 و 10، در مجموع 51 نمونه آزمایش نشان می‌دهد.

ب- محاسبات شیب خط انرژی

این محاسبات با روش EDM و نرم افزار HEC-RAS انجام پذیرفت که خطاهای نسبی نیز در این جدول محاسبه شده‌اند. در اینجا نیز قدرمطلق نسبی هر یک از آزمایش‌های مربوط به هر سری، میانگین-گیری شده تا خطای متوسط در هر سری بدست آید و در نهایت با میانگین گرفتن از این مقادیر، خطای نسبی متوسط کل بدست آمده است.

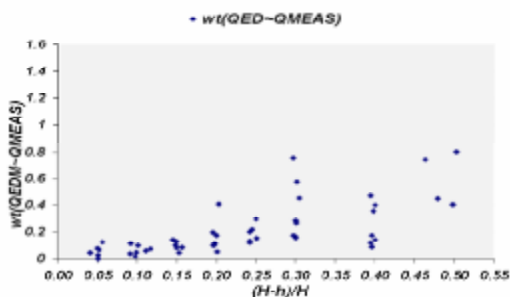
شکل 3 متوسط قدرمطلق خطاهای نسبی محاسبه شیب خط انرژی به روش EDM و نرم افزار HEC-RAS را برای تمامی آزمایش‌های سری‌های 01, 02, 03, 06, 08 و 10 (FCF)، نشان می‌دهد. در این شکل ملاحظه می شود که خطای نسبی محاسبه شیب خط انرژی به روش EDM کمتر از نرم افزار HEC-RAS می باشد. لازم به ذکر است که در اینجا نیز همچون بحث قبلی (محاسبه دبی) خطای متوسط محاسبه شیب خط انرژی با روش EDM در هر سری آزمایش مورد مطالعه دارای مقدار حداقل می‌باشد. در نتیجه خطای متوسط کل نیز که از میانگین خطاهای متوسط هر سری داده بدست می‌آید، دارای مقدار کمتری برای روش EDM خواهد بود.

شکل 5 خطای نسبی محاسبه دبی با روش EDM و با در نظر گرفتن ψ^t برابر با 0/16 را نشان می‌دهد و به همین ترتیب شکل 6 نیز خطای نسبی محاسبه شیب خط انرژی با روش EDM و با در نظر گرفتن ψ^t برابر با 0/16 را در بر دارد. از این دو شکل می‌توان شروع تغییر رفتار عمومی خطاهای نسبی را در عمق نسبی حدود 0/15 مشاهده نمود.

جهت تعیین ψ^t بر حسب عمق نسبی، (با واسنجی مقادیر دقیق ψ^t) دو معادله ساده خطی یکی برای عمق نسبی کمتر از 0/15 و دیگری برای عمق نسبی بیشتر از آن بدست آمده است. این معادلات در شکل‌های 7 و 8 به شرح زیر ملاحظه می‌شوند:

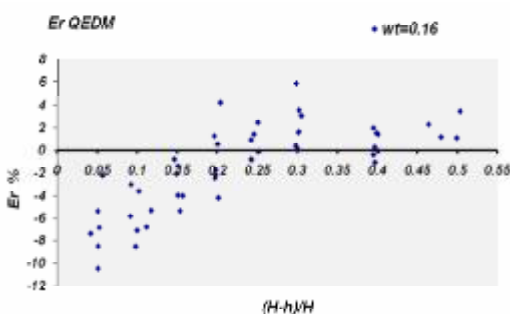
$$\psi^t = 0.5339 \times \left(\frac{H-h}{H}\right) + 0.0219, \quad \left(\frac{H-h}{H}\right) < 0.15 \quad [7]$$

$$\psi^t = 1.7714 \times \left(\frac{H-h}{H}\right) - 0.2054, \quad \left(\frac{H-h}{H}\right) \geq 0.15 \quad [8]$$



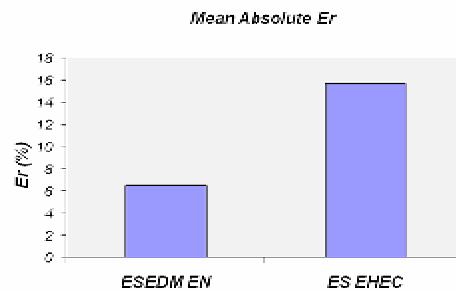
شکل 4- مقادیر دقیق ψ^t (محور قایم) جهت محاسبه دقیق دبی

(با خطای نسبی کمتر از 0/1 درصد) با روش EDM



شکل 5- خطای نسبی محاسبه دبی با روش EDM و با در نظر

گرفتن $\psi^t=0/16$



شکل 3- متوسط قدرمطلق خطاهای نسبی محاسبه شیب خط

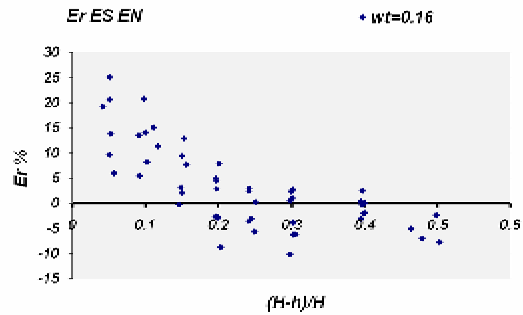
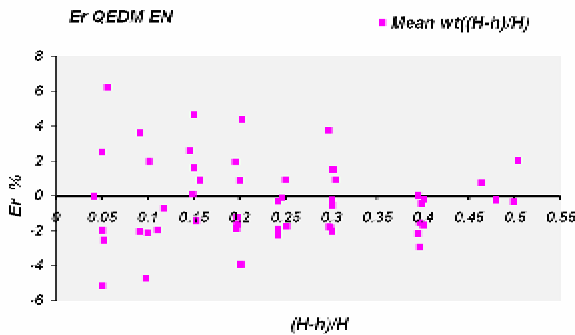
انرژی به روش‌های مختلف برای آزمایش‌های سری های 01.

02, 03, 06, 08 و 10 (FCF)

تعیین ضریب تجربی ψ^t

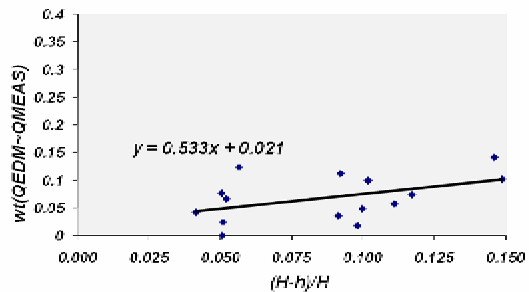
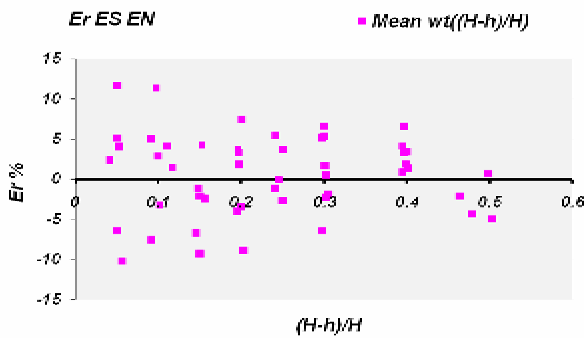
بوسمر و زیک (2002) از تأثیر عوامل مختلف به ویژه عمق نسبی (مهمترین عامل در میزان اندرکنش بین کانال اصلی و بسترهای سیلابی) روی ضریب تجربی ψ^t صرفنظر نموده و با استفاده از نتایج آزمایش‌های انجام گرفته مقدار ثابت و متوسطی معادل (0/16) برای این ضریب بدست آوردند. در این بخش تأثیر عمق نسبی روی ضریب تجربی ψ^t بررسی می‌شود تا رابطه‌ای منطقی و مناسب بین آنها برقرار شود و به این ترتیب با اصلاح روش EDM بر دقت نتایج حاصل از محاسبه دبی و شیب خط انرژی افزوده خواهد شد.

با انتخاب مقادیر اندازه گیری شده برای دبی و شیب خط انرژی، مقادیر دقیق ψ^t برای تمامی آزمایش‌های سری 01, 02, 03, 06, 08 و 10 (FCF) برآورد گردید که می‌توان این نتایج را در شکل 4 مشاهده کرد. همچنین شکل 4 نشان می‌دهد که برای عمق‌های نسبی بیش از حدود عدد 0/15 (بین 0/15 تا 0/2)، ψ^t پراکندگی بیشتری پیدا می‌کند. در واقع می‌توان دید که روش EDM ارائه شده توسط بوسمر و زیک (2001) در عمق نسبی حدود 0/15 دارای تغییر رفتار می‌باشد.



شکل 9- خطای نسبی محاسبه دبی به روش EDM و با استفاده از فرمول ها جهت برآورد Ψ^t

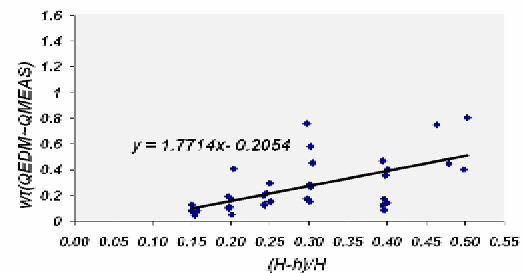
شکل 6- خطای نسبی محاسبه شیب خط انرژی با روش EDM و با در نظر گرفتن Ψ^t برابر با 0/16



شکل 10- خطای نسبی محاسبه شیب خط انرژی به روش EDM و با استفاده از فرمول ها جهت برآورد Ψ^t

شکل 7- بدست آوردن معادله ساده خط جهت برآورد مقادیر Ψ^t (عمق نسبی کمتر از 0/15)

از بررسی شکل های 9 و 10 ملاحظه می شود که خطای نسبی در محاسبه دبی و شیب خط انرژی با روش EDM اصلاح شده عموماً برای عمق های نسبی مختلف کاهش یافته است. همچنین خطاها برای عمق های نسبی مختلف در بازه مشخصی پراکنده هستند.

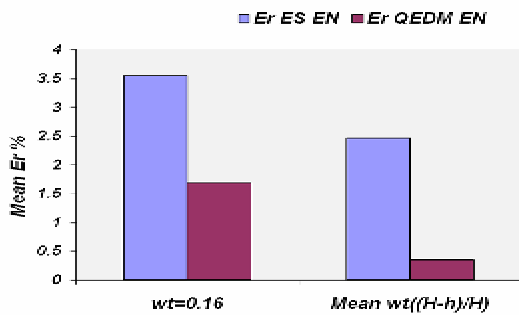


شکل 11 مقایسه کلی متوسط قدر مطلق خطای نسبی در محاسبه دبی و شیب خط انرژی با استفاده از روش EDM را برای $\Psi^t=0/16$ و همچنین برآورد Ψ^t را با فرمول های ارائه شده نشان می دهد (برای آزمایش های سری های 01, 02, 03, 06, 08 و 10, FCF).

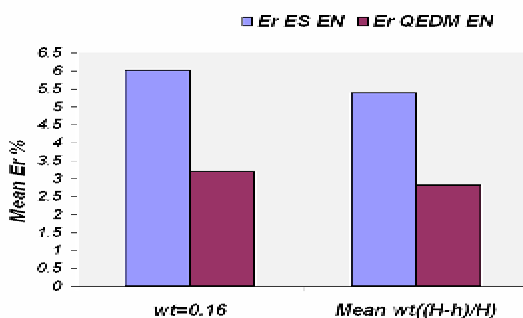
شکل 8- بدست آوردن معادله ساده خطی جهت برآورد مقادیر Ψ^t (عمق نسبی بزرگتر یا مساوی 0/15)

نتایج حاصل از محاسبه خطاهای نسبی برای تعیین دبی و شیب خط انرژی به روش EDM و با استفاده از تعریف فرمول های جدید برآورد Ψ^t را برای آزمایش های سری های 01, 02, 03, 06, 08 و 10 (FCF) به ترتیب در شکل های 9 و 10 مشاهده می شود.

آزمایش روی کانال‌های کوچک مقیاس را به ترتیب 50 و 20 درصد کاهش داده است.



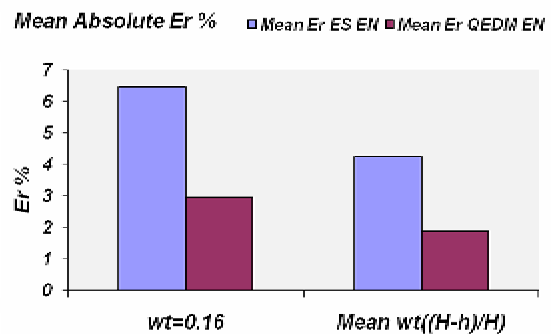
شکل 12- میانگین قدرمطلق خطاهای نسبی محاسبه دبی و شیب خط انرژی با روش EDM و با در نظر گرفتن Ψ^t برابر با 0/16 و همچنین برآورد Ψ^t از طریق فرمول‌ها برای آزمایش‌های نایت و دیمتریو ($TL/T=4$)



شکل 13- میانگین قدرمطلق خطاهای نسبی محاسبه دبی و شیب خط انرژی با روش EDM و با در نظر گرفتن Ψ^t برابر با 0/16 و همچنین برآورد Ψ^t از طریق فرمول‌ها برای آزمایش‌های یوئن ($S_0=0.001$)

نتیجه‌گیری

به کمک برنامه‌سازی به زبان C++، حل دو مسئله کاربردی در کانال‌های مرکب یا رودخانه‌ها به شکل منشوری، مستقیم و فاقد رسوب، یعنی تعیین نمودار دبی-اشل و تعیین شیب خط انرژی با استفاده از روش مدل تبادل دبی (EDM) ارائه گردید. به کمک داده‌های حاصل از آزمایش‌های انجام گرفته روی



شکل 11- مقایسه کلی متوسط قدر مطلق خطای نسبی در محاسبه دبی و شیب خط انرژی با استفاده از روش EDM برای Ψ^t برابر با 0/16 و همچنین برآورد Ψ^t با فرمول‌ها برای آزمایش‌های سری‌های 01، 02، 03، 06، 08 و 10 (FCF)

دقت محاسبات دبی و شیب خط انرژی با استفاده از برآورد Ψ^t از فرمول ارائه شده در این شکل کاملاً مشهود است. همچنین شکل 11 نشان می‌دهد روش EDM اصلاح شده به طور متوسط خطای محاسبه دبی را در حدود 36 درصد و خطای محاسبه شیب خط انرژی را حدود 34 درصد کاهش داده است.

به منظور اعتبار بخشی به فرمول‌های ارائه شده، در دو نمونه کانال مرکب کوچک مقیاس (به جدول 1 مراجعه کنید) محاسبه دبی و شیب خط انرژی توسط روش EDM و با در نظر گرفتن Ψ^t برابر با 0/16 و همچنین برآورد Ψ^t از طریق فرمول‌ها انجام گرفت. لازم به ذکر است که هر دو نمونه کانال که مربوط به کار نایت و همکاران (1983) و یوئن (1989) می‌باشند، دارای بسترهای صاف بوده و شیب بستر کانال در آنها کوچک‌تر یا مساوی 0/001 است که نتایج حاصل در شکل‌های 12 و 13 ارائه شده‌اند.

در کل نتایج، دقیق‌تر بودن جواب‌ها با در نظر گرفتن تخمین عددی Ψ^t از طریق معادله‌های 7 و 8 نشان داده می‌شوند. از شکل‌های 12 و 13 می‌توان دید که روش EDM اصلاح شده به طور متوسط خطای نسبی محاسبه دبی و شیب خط انرژی در این دو سری

5- با برآورد خطاهای نسبی حاصل از محاسبه شیب خط انرژی توسط روش EDM و همچنین نرم افزار HEC-RAS، نتیجه گیری می شود که روش EDM دارای کمترین خطای نسبی جهت محاسبه شیب خط انرژی می باشد.

6- نتایج حاصل نشان می دهد که عامل عمق نسبی تأثیر بسیار زیادی روی خطای محاسبه دبی و شیب خط انرژی در مقایسه با روش های مختلف دارد که در واقع نمایانگر تأثیر بسیار زیاد عمق نسبی روی رفتار هیدرولیکی جریان در کانال های مرکب می باشد.

7- محاسبه دبی و شیب خط انرژی با روش EDM ارائه شده توسط بوسمر و زیک (2002) تفاوتی عمومی در رفتار هیدرولیکی جریان را در عمق نسبی حدود 0/15 نشان می دهد.

8- به جای مقدار ثابت 0/16 برای ضریب ψ^t ، دو معادله ساده خطی جهت برآورد پارامتر ψ^t بر حسب عمق نسبی (یکی برای عمق نسبی کمتر از 0/15 و دیگری برای عمق نسبی مساوی یا بیشتر از 0/15) ارائه شد و روش EDM اصلاح شده نتایج حاصل از محاسبه دبی و شیب خط انرژی را به مقدار قابل توجهی (به طور متوسط در حدود 35%) بهبود می بخشد.

تشکر و سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب تشکر و سپاس خود را از پروفسور نایت، از دانشکده مهندسی عمران دانشگاه بیرمنگام - انگلستان و همچنین مؤسسه FCF و آقای دکتر بوسمر از دانشگاه لووین جدید - بلژیک به دلیل امکان استفاده از داده های آزمایش های FCF و کارهای تحقیقاتی ایشان در تهیه این کار پژوهشی اعلام می دارند.

تسهیلات کانال سیلابی (FCF) که شامل آزمایش های سری های 01، 02، 03، 06، 08 و 10 از فاز A بوده اند و مدل سازی آنها با نرم افزار HEC-RAS که نرم افزاری بر مبنای DCM می باشد، نتایج حاصل از روش EDM با نتایج حاصل از مدل های دیگر یعنی مدل کانال منفرد (SCM) و مدل کانال تقسیم بندی شده (DCM) مورد مقایسه قرار گرفت. جهت بهبود نتایج حاصل از مدل تبادل دبی، معادله ساده ای برای برآورد ضریب تجربی این مدل برای کانال های مستقیم و منشوری با جریان دائمی (ψ^t) ارائه شد. بر پایه این مطالعات نتایج زیر حاصل گردید:

1- خطای نسبی محاسبه دبی با SCM همواره دارای مقداری منفی است یعنی SCM دبی را همواره کمتر از مقدار واقعی محاسبه می نماید.

2- خطای نسبی محاسبه دبی با DCM دارای مقدار حداکثر در عمق های نسبی 0/1 تا 0/3 می باشد که نشان می دهد اندرکنش حداکثر بین کانال اصلی و بسترهای سیلابی در این بازه از عمق های نسبی رخ می دهد.

3- در عمق های نسبی بیش از 0/3 تأثیر اندرکنش کانال اصلی و بسترهای سیلابی روی رفتار هیدرولیکی جریان کاهش یافته و در عمق های نسبی 0/5 و بیشتر از آن تقریباً از بین می رود، طوری که رفتار کانال مرکب همچون رفتار کانال ساده ارزیابی می شود.

4- با محاسبه دبی برای مقاطع مرکب مورد آزمایش در سری داده های FCF و رسم نمودار دبی - اشل برای هر یک از سری داده ها و برآورد خطاهای نسبی هر کدام، نتیجه گیری می شود که روش EDM دارای کمترین خطای نسبی جهت محاسبه دبی (نمودار دبی - اشل) در مقایسه با سایر روش ها می باشد.

منابع مورد استفاده

- محمدی م، 1386. هیدرولیک جریان در کانالها و رودخانه‌ها، (ترجمه، چاپ دوم)، انتشارات دانشگاه ارومیه.
- عسگری آ، 1389. بررسی رفتار هیدرولیکی جریان در کانالهای مرکب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه ارومیه.
- Ackers P, 1993. Stage-discharge functions for two-stage channels: The impact of new research. *Journal of Institute Water and Environmental Management* 7 (1): 52-61.
- Bousmar D, Scherer R and Zech Y, 1998. One-dimensional unsteady flow computation in channels with floodplains. Pp. 205-215. *Computational Fluid Mechanics Publications*. Southampton, UK.
- Bousmar D and Zech Y, 1999. Momentum transfer for practical flow computation in compound channels. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 125 (7): 696-706
- Bousmar D and Zech Y, 2001. Periodic turbulent structures modeling in a symmetric compound channel. Pp. 244-249. *Proc. 29th Congress of IAHR, Tsinghua University Press*. Beijing, China.
- Bousmar D and Zech Y, 2002. Periodic turbulent structures in compound channels. Pp. 177-185. *Conference Proceeding Book River Flow*. University of Luvain La Nau, Belgium.
- Knight DW, Demetriou JP and Hamed ME, 1983. Hydraulic analysis of channels with floodplains. Pp. 129-144. *Proceedings Ins. Conf. on Hydraulic Aspects of Floods and Flood Controls*. British Hydromechanics Research Association (BHRA). September, London.
- Sellin RHJ, 1964. A laboratory investigation into the interaction between the flow in the channel of the river and that over its floodplain. *La Houille Blanche* 7: 793-802.
- Yuen YHK, 1989. A study of boundary shear stress, flow resistance and momentum transfer in open channels with simple and compound trapezoidal cross-section. PhD Thesis. University of Birmingham, England.