

بررسی تحلیلی روابط دبی - اشل در کانال‌های مرکب با زبری‌های غیر یکنواخت*

(یادداشت پژوهشی)

محمود فغفور مغربی^(۱) علی اصغر حیدریگی^(۲)

چکیده در قرن گذشته، فرمول‌های زیادی برای تعیین ضریب زبری مانینگ در کانال‌های ساده و مرکب با زبری غیر یکنواخت ارائه شده است. چنان‌که اهل و مرفرن یا زای رایسید، دوشه همیستر تی بد زای عیبات تروصه ب ب آح حطسه زارت تارمیغه، لانا کاک ک پ رد اهل و مرفرن یا زا هدافتسا اب چه، کیلورادیه ای اهرتاراپ ریاسه رد اهی گتسویان بن یا هک لنده می ماناشند دوشه زای گتسویان، ریگب لایسه ت مسقه و ی لصال لانا کاک رتسه زرم رد ل ماع و گننیامه ی ریز ب بیرض: ی لصال ماع و د زای شان اهی گتسویان بن یا. دراند دوجو، هریغ و طسوته ی اهت عرسه، ص و صخه ی اهی ژرنا: ریظن طباور لومرف ۲۶ دادعتی سررب، هلاقه بن یا رد. ادشابی م) $AR^{2/3}$ (موس و د ناوت ه ب کیلورادیه ع اعش رد نا ایرج ع طقه حطسه ب رض ل صاحب مدعت ل ماعه ب ار اهل و مرفرن یا رشکا هک لدهدی ماناشند، ت خلونکی ریغی اهی ریز اب ب کرم ی اهل لانا ک رد، n_e (گننیامه ل ماعه ی ریز ب بیرض داجیا مدعت ع فر روظنه ه ب. ت سسا لوبق ل باقی کیلورادیه ط یارشد ی اراد، لومرف ه س اهمیت و دربراکه ب ناوتی ه ب کرم ی اهل لانا ک رد ی گتسویان ک پ ی سانه ی اهرتاراپ زای دادعت ریغه اب ک بیکت بن یا زا هدافتسا اب هک هادش داهنشیه به لاسه بن یا ل ح ی ارب ی کینکت، مود ل ماع زای شان ی گتسویان، ی لصال لانا ک ه ب ریگب لایسه ت حاسه ت بسندش یازفا اب دهد ی ماناشند، ح یانند ت س هادش همیستر ل شا - ی بد ی اهم ارگاید ب کرم ی اهرتاراپ لانا ک ی اهره رادج ی بناج ب پیش تارمیغه لدهدی ماناشند ل صاحب ح یانند بنیچم ه. ادبای ی م ش یازفا و د نا ن بید زرم رد ی کیلورادیه ی اهریغه بن ی فالاتخا دریگرارقه ریگب لایسه حطسه زا رتلا اب ب آح حطسه زارت هک ی نامز ص و صخه ه ب لسنکی ه ب داجیا ی بد تارمیغه رد ی اهدمه ریثات، ریگب لایسه و ی لصال لانا ک

واژه‌های کلیدی رابطه دبی - اشل، کانال روباز، فرمول مانینگ

Analytical Investigation of Stage-Discharge Relationships of Compound-Composite Channels

M.F. Maghrebi

A.A. Heidarbeigi

Abstract Many formulas have been proposed over the last century for the evaluation of Manning's n in composite material both for single and compound channels. However, when stage is plotted as a function of discharge, many of them show discontinuity at the junction of the main channel and flood plain. These discontinuities have not been observed in other hydraulic parameters such as specific energies, and mean velocities. The discontinuity arises from two major sources, firstly Manning's n and secondly $AR^{2/3}$. Investigations of 26 formulas for equivalent Manning's n_e in composite channels show that many of them cannot be applied for a two-stage channel because of the discontinuity. It is observed that only three of those formulas can be used to meet this requirement. In order to solve the problem of the lack of continuity for the second term a new technique is proposed. Using this technique a number of geometrical parameters of a trapezoidal channel such as the ratio of the flood plain to main channel as well as the side slope of the main channel and flood plain are altered to graphically investigate their behaviour on the stage-discharge diagrams. The results show that as the ratio of flood plain to the main channel area is increased, the differences between the hydraulic variables will be increased. Also the increment of the side slope of the main channel and flood plain do not show a significant change in the dimensionless discharge especially when the water level is above the flood plain stage.

Key Words Stage-discharge relationship, Open channel flow, Manning's Formula

* تاریخ دریافت نسخه نهایی اصلاح شده ۸۵/۵/۷ و تاریخ تصویب مقاله ۸۵/۶/۴.

(۱) دانشیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

(۲) عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کاشمر

محاسبه ضریب زبری معادل نموده‌اند [1,3,4]. در بخش بعد، مرور مختصری بر روی این فرضیات انجام شده است.

بررسی تئوری‌های تعیین ضریب زبری معادل مانینگ n_e

برای تعیین مقدار سرعت جریان در کانال‌های باز منشوری در حالت جریان یکنواخت دائمی، می‌توان از معادله مانینگ:

$$V = \frac{K_n R^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad (1)$$

استفاده نمود.

در این رابطه، V سرعت متوسط جریان، $K_n = 1 \text{ m}^{1/2} / \text{s}$ در سیستم SI و n ضریب زبری مانینگ، R شعاع هیدرولیکی و S شیب اصطکاکی و یا شیب خط انرژی می‌باشد. این رابطه تنها برای جریان‌های پایدار، یکنواخت و بدون رسوبات در مرزهای بدون تراوش معتبر است. از بین پارامترهای تعریف شده در فرمول ۱، n پارامتری مهم است که بر دقت سرعت تخمین زده شده اثر می‌گذارد. گرچه در کانال‌های باز منشوری با زبری یکنواخت، n را می‌توان از جداول و دیاگرام‌ها به دست آورد؛ ولی در کانال‌های مرکب با زبری‌های غیر یکنواخت، استفاده از آن قابل قبول نمی‌باشد.

در کانال‌های مرکب غیر یکنواخت، روش‌های متعددی برای پیش‌بینی ضریب زبری مانینگ معادل n_e پیشنهاد شده است [3,5]. در این روش‌ها اغلب، سطح مقطع جریان به تعدادی زیر مقطع تقسیم می‌شود که هر زیر مقطع، دارای قطعه‌ای از پیرامون مرطوب با زبری یکنواخت n_i می‌باشد (شکل (۱)).

در تحلیل یک بعدی محاسبات پروفیل سطح آب، موقعیت پرش‌های هیدرولیکی و تحلیل خطرات ناشی از سیلاب، نیاز به تعیین ضریب زبری معادل، مختص به شرایط فیزیکی و هیدرولیکی کانال می‌باشد.

مقدمه

برآورد سرعت متوسط جریان و ظرفیت گذردگی کانال‌های طبیعی به منظور تحلیل خطرات ناشی از سیلاب، برای مهندسین هیدرولیک بسیار حائز اهمیت است. امروزه جهت برآورد سرعت و قابلیت گذردگی جریان در کانال‌های طبیعی از معادله مانینگ به صورت گسترده‌ای استفاده می‌شود. عملکرد مناسب معادله مانینگ، بستگی به دقت تعیین ضریب زبری مانینگ n دارد.

تکنیک‌های مختلفی به منظور هدایت و راهنمایی مهندسین در تعیین ضریب زبری مانینگ وجود دارد. به عنوان مثال برخی از: گراف‌ها، جداول، عکس‌ها و توضیحات را می‌توان در متون پایه مشاهده نمود [1,2]. با تخمین مناسب ضریب زبری مانینگ، سرعت متوسط و دبی عبوری از کانال‌های طبیعی و یا مصنوعی را می‌توان با دقت مناسبی به دست آورد.

در بعضی مواقع، مصالح تشکیل دهنده پیرامون مرطوب کانال‌های روباز طبیعی و یا مصنوعی به صورت یکنواخت نیست و از یک نقطه به نقطه دیگر تغییر می‌کند. به عنوان مثال، مشاهدات انجام شده در بسیاری از کانال‌های مرکب نشان می‌دهد که زبری کانال اصلی به علت جریان دائمی، کم‌تر از زبری مقطع سیلاب‌گیر می‌باشد. این موضوع، عمدتاً به علت: رشد گیاهان، رسوب مواد واریزه‌ای، بهره برداری از سیلاب‌گیر به منظور تفریحات ورزشی و اهداف آبرسانی می‌باشد که این عوامل، ممکن است باعث افزایش ضریب زبری گردد. با نگاهی دقیق‌تر به کانال‌های طبیعی، مشاهده می‌شود که این مقاطع، عمدتاً در مقاطعی به شکل ذوزنقه‌ای و یا به شکل مشابه آن است؛ لذا می‌توان گفت تقریباً تمامی مقاطع این کانال‌ها دارای زبری‌های غیر یکنواخت می‌باشد. محققین به منظور تعیین ضریب زبری معادل مانینگ، با در نظر گرفتن فرضیاتی، سعی در به دست آوردن روابطی جهت

برشی خالص موجود بر روی خطوط مرزی، برابر با صفر است.

۳- فرم کلی معادله به کار برده شده در کانال‌ها را می‌توان برای هر زیر مساحت به‌کاربرد.

۴- گرادیان انرژی و سرعت متوسط برای هر زیر مساحت مقداری یکسان می‌باشد.

۵- مقدار زبری در هر زیر مساحت به طور یکنواخت می‌باشد.

هورتون و اینشتن (Horton & Einstein, 1933)

رابطه‌ای برای n_e به صورت زیر بیان نموده‌اند [4]:

$$n_e = \left[\frac{\sum_{i=1}^N P_i n_i^{3/2}}{P} \right]^{2/3} \quad (3)$$

که در آن اندیس‌های i و N به ترتیب نشان دهنده شماره زیر مساحت و تعداد زیر مساحت‌ها می‌باشند.

پاولفسکی (Pavlovsky, 1932) فرض شماره ۴

را در نظر گرفت [4] و به جای آن فرض نمود که مقاومت کلی جریان، برابر با مجموع نیروهای مقاوم در زیر مساحت‌ها، و هم‌چنین شعاع هیدرولیکی کل مقطع R برابر با شعاع هیدرولیکی زیر مقطع می‌باشد. با توجه به مطالب ذکر شده، وی ضریب زبری معادل مانینگ n_e حاصله را به صورت زیر به‌دست آورد:

$$n_e = \left[\frac{\sum_{i=1}^N P_i n_i^2}{P} \right]^{1/2} \quad (4)$$

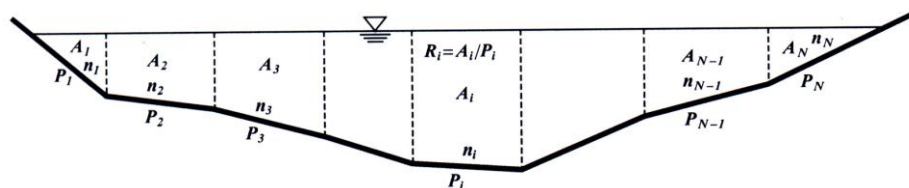
بدین منظور، پس از تقسیم سطح مقطع جریان به چندین زیر مساحت، به هر زیر مساحت مولفه‌ای از زبری مانینگ n انتساب می‌شود و این مقادیر، با گرفتن پارامتر وزنی و جمع نمودن آن‌ها با یکدیگر، بسته به روش به کار برده شده جهت به دست آوردن ضریب زبری مانینگ n_e مورد استفاده واقع می‌گردد. می‌توان بین (Yen) فرم کلی روش محاسبه ضریب زبری معادل مانینگ را برای کانال‌های روباز با زبری غیر یکنواخت به صورت زیر پیشنهاد نمود [6]:

$$n_e = \sum_{i=1}^N w_i n_i \quad (2)$$

که در آن، N تعداد تقسیمات مقطع کانال، n_i ضریب مانینگ و w_i پارامتر وزنی نظیر در زیر مساحت i از مقطع کانال می‌باشد. در میان روش‌های مختلف تقسیم‌بندی سطح مقطع کانال، متداول‌ترین روش، استفاده از خطوط قائم برای این تقسیم‌بندی‌ها می‌باشد شکل (۱). همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، هر زیر مساحت A_i دارای پیرامون مرطوب P_i ، شعاع هیدرولیکی R_i ، و یک زبری منحصر به فرد n_i می‌باشد. فرضیات مربوط به اطلاعات مقاومت جریان که براساس آن n_e مورد ارزیابی واقع می‌شود به شرح زیر می‌باشد:

۱- مقاومت ایجاد شده به وسیله پیرامون مرطوب، برابر با مولفه نیروی ثقلی در جهت جریان در هر زیر مساحت می‌باشد؛ به شرط آن‌که که در هر زیر مساحت، جریان برقرار باشد.

۲- بر روی خطوط مرزی زیر مساحت، هیچ‌گونه انتقال مستقیم خالص رخ نمی‌دهد؛ بدان معنی که تنش



شکل ۱ جریان در یک کانال با زبری غیر یکنواخت با زیر مساحت‌هایی که توسط خطوط قائم از یکدیگر جدا شده‌اند

بررسی روابط دبی-اشل در کانال‌های مرکب ...

$$Q = \frac{1}{n_e} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (\text{الف})$$

$$Q = \frac{1}{n_e} \sum_{i=1}^N A_i R_i^{2/3} S^{1/2} \quad (\text{ب})$$

$$Q = \sum_{i=1}^N \frac{A_i R_i^{2/3} S^{1/2}}{n_i} \quad (\text{ج})$$

(۴)

در این تحقیق به منظور مشاهده عملکرد معادلات ضریب زبری معادل، و پیشنهاد بهترین معادله برای به‌کارگیری در کانال‌های مرکب، ضرایب زبری مانینگ یک کانال دوزنقه‌ای ساده و مرکب روباز، مورد بررسی واقع شده‌اند.

رفتار معادلات مختلف در یک کانال

دوزنقه‌ای ساده

نخست، فاکتور ضریب زبری معادل مانینگ n_e که در معادلات (۴ الف و ب) به کار برده شده‌اند، مورد بررسی قرار خواهند گرفت. بدین منظور، یک کانال دوزنقه‌ای متعارف نظیر شکل (۲) که دارای مشخصات $z_1=1$ ، $n_2/n_1=2$ و $n_1=0.01$ می‌باشد، در نظر گرفته شده است. استفاده از مقدار اولیه $n_1=0.015$ عملاً با توجه به بدون بعد نمودن کلیه متغیرهایی که در سرتاسر مقاله حاضر استفاده شده، حائز اهمیت، و تغییرات زبری بر روی سطح مقطع تر شده کانال مورد توجه بوده؛ ولی چنین مقادیری در رفرنس‌های متخصصین مختلف از قبیل مؤسسه تحقیقات کانال سیلابی انگلستان UK-FCF و در کارهای ورملیتن و هم‌کاران (Wormleaton et al. 1990 [8]) مورد استفاده قرار گرفته است.

لاتر (Lotter, 1933) فرض نمود که دبی کل عبوری از مقطع عرضی، برابر با مجموع دبی عبوری از هر زیر مساحت می‌باشد. نتیجه این فرض، منجر به معادله زیر گردید:

$$n_e = \frac{PR^{5/3}}{\sum \left(\frac{P_i R_i^{5/3}}{n_i} \right)} \quad (۵)$$

براساس برخی از فرضیات فوق‌الذکر، ۲۶ معادله توسط چن (Chen) و یین (Yen) [7] جمع‌آوری شده است (این فرمول‌ها را در ضمیمه (الف) می‌توان دید).

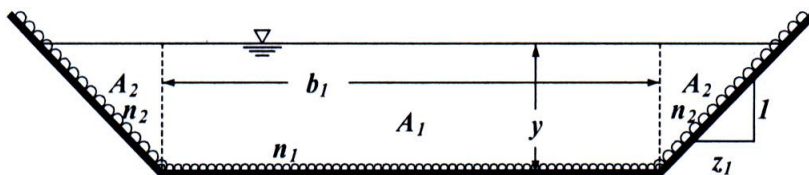
در یک کانال با زبری یکنواخت در ترازهای مختلف سطح آب، مقاومت جریان، مقادیر مختلفی از انرژی را مصرف می‌نماید و به همین دلیل، ضریب زبری مانینگ نیز تغییر خواهد کرد. به عبارت دیگر، فرض ثابت بودن ضریب مانینگ n ، بر روی پیرامون تر شده بستر در حالی که تراز سطح آب تغییر می‌کند، صحیح نمی‌باشد. با این وجود به علت تفاوت اندک، باید خاطر نشان نمود در تمامی معادلات، ضریب محلی مانینگ n در یک نقطه به صورت ضمنی فرض شده که مستقیماً به عمق جریان بستگی ندارد.

در ایستگاه‌های هیدرومتری، عموماً به‌منظور ترسیم منحنی‌های دبی-اشل، مقدار دبی را می‌توان با استفاده از معادله مانینگ که به صورت تابعی از شیب کانال S ، هندسه سطح مقطع جریان و ضریب زبری مانینگ n است، به صورت زیر به دست آورد:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (۶)$$

که در آن Q دبی جریان، A و R به ترتیب؛ سطح مقطع و شعاع هیدرولیکی جریان می‌باشند.

در یک کانال با زبری غیر یکنواخت، مقدار دبی عبوری را می‌توان توسط فرمول مانینگ و با استفاده از ضریب زبری مانینگ معادل n_e به جای ضریب مانینگ n ، به یکی از صورت‌های زیر محاسبه نمود:



شکل ۲ مشخصات هندسی یک کانال ساده غیر یکنواخت

جدول ۱ تغییرات n_e/n_1 بر حسب b_1/y (نظیر شکل ۳) برای ۲۶ فرمول ارائه شده در ضمیمه (الف)

b_1/y									شماره معادله
۲۰	۱۵	۱۰	۵	۴	۳	۲	۱	۰	
۰.۹۸۱	۰.۹۸۱	۰.۹۷۶	۰.۹۶۹	۰.۹۵۷	۰.۹۵۵	۰.۹۵۶	۰.۹۷۱	۲	۱
۱.۰۶۶	۱.۰۸۶	۱.۱۲۴	۱.۲۲۰	۱.۲۶۱	۱.۳۲۰	۱.۴۱۴	۱.۵۸۶	۲	۲
۰.۹۷۱	۰.۹۶۴	۰.۹۵۳	۰.۹۳۳	۰.۹۲۹	۰.۹۲۸	۰.۹۳۹	۱.۰۰۵	۲	۳
۱.۱۴۶	۱.۱۸۵	۱.۲۵۳	۱.۴۰۲	۱.۴۵۶	۱.۵۲۷	۱.۶۲۵	۱.۷۶۸	۲	۴
۱.۰۶۸	۱.۰۸۸	۱.۱۲۷	۱.۲۲۲	۱.۲۶۳	۱.۳۲۰	۱.۴۱۲	۱.۵۷۹	۲	۵
۱.۰۵۷	۱.۰۷۵	۱.۱۰۸	۱.۱۹۴	۱.۲۳۱	۱.۲۸۵	۱.۳۷۴	۱.۵۴۲	۲	۶
۱.۱۱۱	۱.۱۴۲	۱.۱۹۷	۱.۳۲۵	۱.۳۷۴	۱.۴۴۰	۱.۵۳۷	۱.۶۹۳	۲	۷
۱.۰۸۱	۱.۱۰۵	۱.۱۴۸	۱.۲۵۶	۱.۲۹۹	۱.۳۶۲	۱.۴۵۶	۱.۶۲۲	۲	۸
۱.۰۵۱	۱.۰۶۷	۱.۰۹۷	۱.۱۷۶	۱.۲۱۱	۱.۲۶۳	۱.۳۴۸	۱.۵۱۶	۲	۹
۱.۰۴۸	۱.۰۶۳	۱.۰۹۱	۱.۱۶۷	۱.۲۰۰	۱.۲۵۰	۱.۳۳۳	۱.۱۵۰	۲	۱۰
۱.۰۶۷	۱.۰۸۷	۱.۱۲۵	۱.۲۲۰	۱.۲۶۰	۱.۳۱۸	۱.۴۱۰	۱.۵۷۷	۲	۱۱
۱.۲۳۸	۱.۲۹۵	۱.۳۸۸	۱.۵۶۷	۱.۶۲۵	۱.۶۹۶	۱.۷۸۴	۱.۸۹۱	۲	۱۲
۱.۰۹۰	۱.۱۱۶	۱.۱۶۳	۱.۲۷۵	۱.۳۱۹	۱.۳۸۲	۱.۴۷۶	۱.۶۳۷	۲	۱۳
۱.۰۶۹	۱.۰۸۹	۱.۱۲۸	۱.۲۲۵	۱.۲۶۵	۱.۳۲۳	۱.۴۱۴	۱.۵۸۱	۲	۱۴
۱.۱۷۱	۱.۲۱۵	۱.۲۸۹	۱.۴۴۴	۱.۴۹۸	۱.۵۶۷	۱.۶۶۱	۱.۷۹۳	۲	۱۵
۱.۱۱۴	۱.۱۴۷	۱.۲۰۵	۱.۳۴۱	۱.۳۹۳	۱.۴۶۴	۱.۵۶۵	۱.۷۲۳	۲	۱۶
۱.۰۶۷	۱.۰۸۷	۱.۱۲۴	۱.۲۱۹	۱.۲۵۹	۱.۳۱۷	۱.۴۰۸	۱.۵۷۶	۲	۱۷
۱.۰۵۷	۱.۰۷۵	۱.۱۰۸	۱.۱۹۴	۱.۲۳۱	۱.۲۸۵	۱.۳۷۳	۱.۵۴۲	۲	۱۸
۱.۰۹۵	۱.۱۲۲	۱.۱۷۲	۱.۲۹۲	۱.۳۳۹	۱.۴۰۵	۱.۵۰۳	۱.۶۶۶	۲	۱۹
۱.۰۵۷	۱.۰۷۵	۱.۱۰۸	۱.۱۹۴	۱.۲۳۱	۱.۲۸۵	۱.۳۷۳	۱.۵۴۲	۲	۲۰
۱.۰۴۱	۱.۰۵۴	۱.۰۷۹	۱.۱۴۸	۱.۱۷۸	۱.۲۲۶	۱.۳۰۶	۱.۴۷۳	۲	۲۱
۱.۰۳۸	۱.۰۵۰	۱.۰۷۴	۱.۱۴۰	۱.۶۹۹	۱.۲۱۶	۱.۲۹۵	۱.۴۵۹	۲	۲۲
۱.۰۵۱	۱.۰۶۶	۱.۰۹۵	۱.۱۷۵	۱.۲۰۹	۱.۲۶۰	۱.۳۴۶	۱.۵۱۴	۲	۲۳
۱.۱۵۵	۱.۱۹۷	۱.۲۷۱	۱.۴۳۳	۱.۴۹۱	۱.۵۶۷	۱.۶۷	۱.۸۱۱	۲	۲۴
۱.۱۲۴	۱.۱۵۹	۱.۲۲۱	۱.۳۶۱	۱.۴۱۴	۱.۴۸۵	۱.۵۸۶	۱.۷۳۹	۲	۲۵
۱.۰۲۲	۱.۰۳۱	۱.۰۵	۱.۱۰۷	۱.۱۳۶	۱.۱۸۱	۱.۲۶۱	۱.۴۳۳	۲	۲۶

جدول ۲ تغییرات Q/Q_U بر حسب b_1/y (نظیر شکل ۴) برای ۲۶ فرمول ارائه شده در ضمیمه (الف)

شماره معادله	b_1/y								
	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۱۰	۱۵	۲۰
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۰.۶۵۵	۰.۶۸۷	۰.۷۲۵	۰.۷۵۸	۰.۷۸۴	۰.۸۶۲	۰.۸۹۹	۰.۹۲۰
۳	۱	۱.۰۳۲	۱.۰۳۴	۱.۰۳۱۳	۱.۰۲۸	۱.۰۲۶	۱.۰۶۹	۱.۰۱۲۵	۱.۰۰۹
۴	۱	۰.۵۸۷	۰.۵۹۸	۰.۶۲۷	۰.۶۵۶	۰.۶۸۳	۰.۷۷۳	۰.۸۲۴	۰.۸۵۶
۵	۱	۰.۶۵۷	۰.۶۸۸	۰.۷۲۵	۰.۷۵۷	۰.۷۸۳	۰.۸۶۰	۰.۸۹۷	۰.۹۱۸
۶	۱	۰.۶۷۴	۰.۷۰۷	۰.۷۴۵	۰.۷۷۶	۰.۸۰۲	۰.۸۷۴	۰.۹۰۸	۰.۹۲۸
۷	۱	۰.۶۱۳	۰.۶۳۲	۰.۶۶۵	۰.۶۹۶	۰.۷۲۳	۰.۸۰۹	۰.۸۵۵	۰.۸۸۳
۸	۱	۰.۶۸۵	۰.۷۲۰	۰.۷۵۸	۰.۷۸۹	۰.۸۱۴	۰.۸۸۳	۰.۹۱۵	۰.۹۳۳
۹	۱	۰.۶۹۲	۰.۷۲۸	۰.۷۶۶	۰.۷۹۶	۰.۸۲۰	۰.۸۸۸	۰.۹۱۹	۰.۹۳۶
۱۰	۱	۰.۶۹۲	۰.۷۲۸	۰.۷۶۶	۰.۷۹۶	۰.۸۲۰	۰.۸۸۸	۰.۹۱۹	۰.۹۳۶
۱۱	۱	۰.۶۵۸	۰.۶۸۹	۰.۷۲۷	۰.۷۵۸	۰.۷۸۴	۰.۸۶۱	۰.۸۹۸	۰.۹۱۹
۱۲	۱	۰.۵۸۹	۰.۵۴۴	۰.۵۶۵	۰.۵۸۸	۰.۶۱۱	۰.۶۹۸	۰.۷۵۴	۰.۷۹۲
۱۳	۱	۰.۶۳۴	۰.۶۵۸	۰.۶۹۳	۰.۷۲۴	۰.۷۵۱	۰.۸۳۳	۰.۸۷۵	۰.۸۹۹
۱۴	۱	۰.۶۵۶	۰.۶۸۷	۰.۷۲۴	۰.۷۵۶	۰.۷۸۱	۰.۸۵۶	۰.۸۹۶	۰.۹۱۷
۱۵	۱	۰.۵۷۸	۰.۵۸۵	۰.۶۱۱	۰.۶۳۸	۰.۶۶۳	۰.۷۵۱	۰.۸۰۴	۰.۸۳۷
۱۶	۱	۰.۶۰۲	۰.۶۲۰	۰.۶۵۴	۰.۶۸۶	۰.۷۱۴	۰.۸۰۴	۰.۸۵۱	۰.۸۸۰
۱۷	۱	۰.۶۵۹	۰.۶۸۹	۰.۷۲۷	۰.۷۵۹	۰.۷۸۵	۰.۸۶۲	۰.۸۹۸	۰.۹۱۹
۱۸	۱	۰.۶۷۳	۰.۷۰۷	۰.۷۴۵	۰.۷۷۶	۰.۸۰۲	۰.۸۷۴	۰.۹۰۸	۰.۹۲۸
۱۹	۱	۰.۶۲۳	۰.۶۴۶	۰.۶۸۱	۰.۷۱۴	۰.۷۴۰	۰.۸۲۶	۰.۸۷۰	۰.۸۹۶
۲۰	۱	۰.۶۷۳	۰.۷۰۷	۰.۷۴۵	۰.۷۷۶	۰.۸۰۲	۰.۸۷۴	۰.۹۰۸	۰.۹۲۸
۲۱	۱	۰.۷۰۵	۰.۷۴۳	۰.۷۸۱	۰.۸۱۱	۰.۸۳۴	۰.۸۹۸	۰.۹۲۶	۰.۹۴۳
۲۲	۱	۰.۷۱۱	۰.۷۵	۰.۷۸۸	۰.۸۱۷	۰.۸۴۰	۰.۹۰۲	۰.۹۲۹	۰.۹۴۵
۲۳	۱	۰.۶۸۶	۰.۷۲۱	۰.۷۶۰	۰.۷۹۱	۰.۸۱۵	۰.۸۸۴	۰.۹۱۶	۰.۹۳۴
۲۴	۱	۰.۵۷۳	۰.۵۸۱	۰.۶۱۱	۰.۶۴۱	۰.۶۶۸	۰.۷۶۲	۰.۸۱۶	۰.۸۵۰
۲۵	۱	۰.۵۹۷	۰.۶۱۲	۰.۶۴۵	۰.۶۷۶	۰.۷۰۳	۰.۷۹۴	۰.۸۴۲	۰.۸۷۳
۲۶	۱	۰.۷۲۴	۰.۷۷۰	۰.۸۱۱	۰.۸۴۱	۰.۸۶۴	۰.۹۲۳	۰.۹۴۷	۰.۹۶۰

مشخص می‌شود که با افزایش پهنای بستر و افزایش نسبت b_1/y ، زبری معادل مانینگ به سمت زبری بستر نزدیک می‌شود؛ به طوری که اثر زبری جداره کانال‌های مثلی، بسیار ناچیز بوده و می‌توان از آن چشم‌پوشی

در شکل (۳) و جدول (۱)، تغییرات n_e/n_1 به صورت تابعی از b_1/y آورده شده است که در آن n_e زبری معادل مانینگ، n_1 زبری بستر کانال، b_1 پهنای بستر و y عمق آب می‌باشد. با توجه به شکل (۳) و جدول (۱)،

یک در بعضی معادلات به کار برده می شود (به عنوان مثال معادلات R14 و R15)، زبری معادل، مقادیر بزرگ تری را به خود اختصاص خواهد داد.

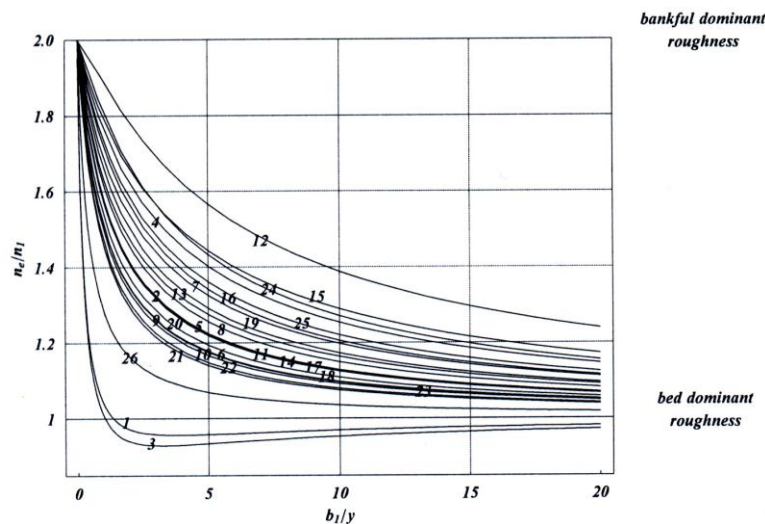
چنان لومر فرد n_e بساحه به طوبرم طباور به چه نودب ی بد و دوشه در بر راکه به (فلا ۶) لاداعه، گنینام قمععه بل لاناك ضرعت بسن ز ای عبات تروصه به دب (۴) لکشل، دوشه میسرته ای لهقزوذ لاناك یرد نایرچ حوضو به هک R3 و R1 ت لاداعه زجه به، ۲) لودج شهاک، ت لاداعه ریاسه، دیشابی می تسردان در کلمه ای اراد ناشنار 1.8 ات $b_1/y = 1.0$ دودحه ردی بسن رب هدشه بساحه ل کی بد Q ، طباور نیارد. دنده می ساسا رب هدشه بساحه ی بد Q_{II} و لداعه یرب ساسا لاناك ددشه رتنوماریپی مامت ی ارب، n_1 ت خلونکی یرب به Q/Q_{II} دب نودب ی بد b_1/y ش یا زفا اب، دیشابی م دندهد ناشن، عوضوم نی هک دیاهنی ملیه دحاو ت مسد دیشابی مه دودحه نیارد لاناك فکی ریز ددعه ریثأت

با توجه به شکل (۴) و جدول (۲)، مشخص می شود که در محدوده تغییرات b_1/y از صفر تا نزدیکی ۵، نرخ تغییرات دبی نسبی زیاد شده و بعد از آن، رفته رفته کاهش می یابد.

نمود.

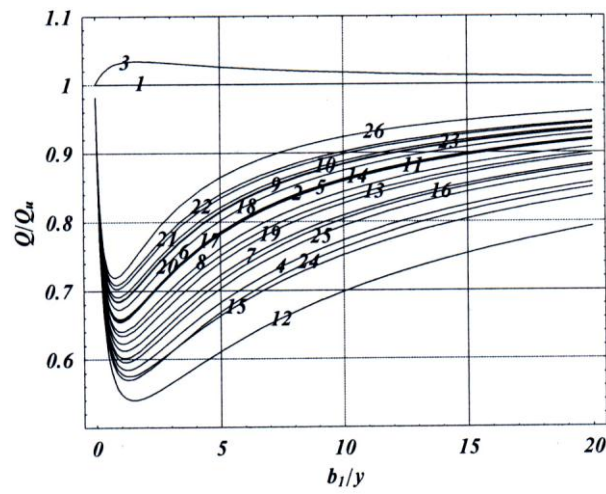
در شکل (۳) منحنی مشخص شده با عدد ۱۲، نمایش گرافیکی معادله R12 می باشد که دارای حداکثر مقدار n_e/n_1 برای تمامی دامنه تغییرات b_1/y نسبت به سایر معادلات می باشد. به کارگیری این معادله (R12) در معادله (۶ الف)، منجر به ایجاد کمترین میزان دبی می شود و بر عکس، معادله R3 منجر به کمترین مقدار n_e (یا نسب n_e/n_1) و در نتیجه باعث ایجاد حداکثر دبی خواهد شد. تغییرات نسبت n_e/n_1 برای معادله R1 و R3 به طور شگفت انگیزی زیر مقدار واحد قرار می گیرد و این موضوع بدین معنا است که زبری معادل، کمتر از حداقل زبری موجود در کانال می باشد. واضح است که چنین حالتی را نمی توان پذیرفت؛ ولی سایر فرمول ها تقریباً در گستره نزدیک تری نسبت به یکدیگر قرار دارند.

مقایسه معادلات: R10، R6، R14 و R15 معادلات: R4، R25 و R15 نشان می دهد زمانی که زبری پیرامون مرطوب در این معادلات اعمال می شود، زبری معادل به سمت مقدار بیشتری کشیده می شود. هم زا رتگ رزب ن او ت اب n_1 گنینام یرب هک ی نامز نینچ

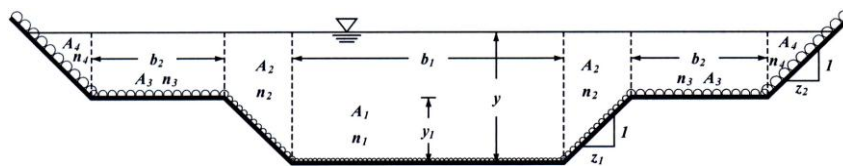


شکل ۳ تغییرات n_e/n_1 به صورت تابعی از b_1/y برای ۲۶ فرمول ارائه شده در ضمیمه (الف)

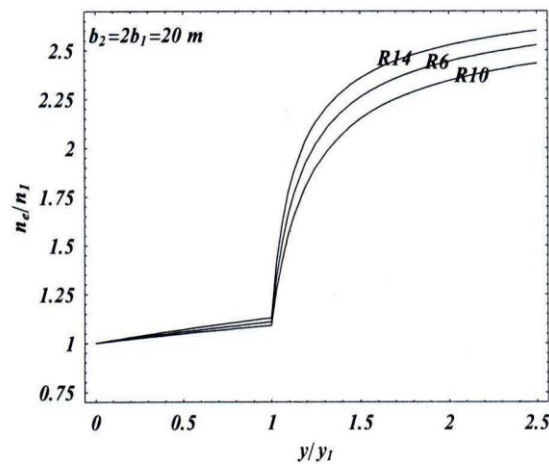
بررسی روابط دبی-اشل در کانال‌های مرکب ...



شکل ۴ تغییرات Q/Q_{II} به صورت تابعی از b_1/y برای یک کانال ذوزنقه ای ساده



شکل ۵ مقطع یک کانال مرکب



شکل ۶ رابطه بین عمق آب و ضریب زبری در یک کانال مرکب برای تمامی معادلات R14 و R10, R6

بررسی زبری معادل در یک کانال مرکب متقارن

در شکل (۵)، مقطع متقارنی از یک کانال مرکب غیر یکنواخت نشان داده شده است. حداقل زبری در کف کانال، به عرض $b_1 = 10.0m$ در نظر گرفته شده که با حرکت به سمت دیواره‌های جانبی، زبری به صورت $n_4/4 = n_3/3 = n_2/2 = n_1 = 0.015$ افزایش می‌یابد. شیب کف کانال، ثابت و برابر $S = 0.0025$ در نظر گرفته شده است.

منحنی تغییرات دبی با عمق در یک کانال مرکب و غیر یکنواخت، عدم پیوستگی در تراز سیلاب‌گیر را نشان می‌دهد که این موضوع بعداً مورد بحث قرار خواهد گرفت. دو عامل اصلی: ضریب مانینگ n و $AR^{2/3}$ باعث این ناپیوستگی می‌باشد.

رابطه دبی - اشل که بر اساس فرمول مانینگ و معادله (۶ الف) محاسبه می‌شود، در واقع حاصل ضرب این دو عامل در جذر شیب اصطکاکی کانال می‌باشد. با افزایش سطح تراز آب به بالاتر از قسمت سیلاب‌گیر، پیرامون مرطوب P به طور ناگهانی با افزایش اندکی در سطح مقطع جریان A افزایش می‌یابد که در نتیجه باعث افزایش ناگهانی شعاع هیدرولیکی R می‌شود. جهت تحلیل و بررسی این موضوع، ابتدا تغییرات زبری مانینگ را مورد بررسی قرار خواهیم داد.

در شکل (۶- الف) رابطه بین تغییرات زبری نسبی n_e/n_1 بر حسب عمق نسبی آب y/y_1 نشان داده شده است. در اغلب معادلات شکل (۶- الف) عدم پیوستگی در تراز سیلاب‌گیر را به علت اثرات طغیانی

جریان در کانال می‌توان مشاهده نمود. زمانی که عمق آب به بالاتر از تراز سیلاب‌گیر افزایش می‌یابد، تنها سه معادله: $R6, R10, R14$ رفتار پیوسته‌ای را از خود نشان می‌دهد (شکل ۶ ب). n_e معادل مربوط به این معادلات (سه معادله اخیر) تنها به صورت توانی از متغیر A_i می‌باشند. معادلاتی که در تراز سیلاب‌ریز ردی گتسوپی مدع ث عاب، دشتابی می‌گتسوپی مدعی اراد مدع ن یا دشت دنهاو خرق مع ابی بد ت اریبغت تی نجنه اریز ؛ت سینی صاخ ی کیلور دیه ی انعم ی اراد ، می گتسوپی ریذپ ناکما ، ب آ ق مع کی ی ا ربی بد زا رانمق و د ن تشاد زارت ه کی ماگنه ، ن ایرج ت اصخشه ی سر رب . د شابی مذ ع قواو ریگب لایس ح طس رواجه ه دودمحه رد ب آ ح طس لدم ی سر رب .ت سا ی مدعبه سه و هدیچی راییسب ، دوشی م هئارا ه لاقه ن یا رد ه ک هچنآ ریظنی ریز زا ی مدعب کی راتفر ه دندند ن اشند ، ی لکت روص ه ب دناوتی مذ ، ه دشت د شابی ق مع ت اریبغت زا ی عیسو ه رتسگی ور رب ن ایرج

با بررسی معادلات: $R6, R10, R14$ ، مشخص می‌شود که این معادلات، تابعی از زیر مساحت و ضریب زبری هر جزء سطح می‌باشد؛ با این تفاوت که توان‌های این متغیرها با یکدیگر برابر نمی‌باشند. علت یکسان نبودن توان‌های این متغیرها (مساحت و ضریب زبری هر جزء سطح) در نظر گرفتن فرضیات اولیه‌ای است که جهت تعادل هیدرولیکی منظور شده است. در جدول (۳) به طور مختصر، فرضیات اولیه پایگذاری مربوط به ایجاد روابط: $R6, R10, R14$ ، آورده شده است.

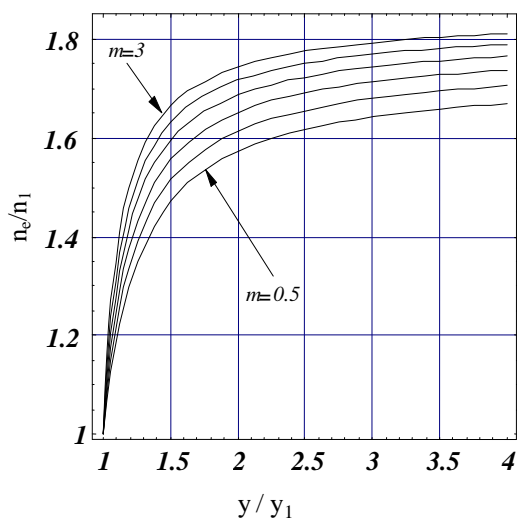
جدول ۳ معادلات ضریب زبری معادل در کانال‌های چند مقطعی و مرکب که باعث پیوستگی در روابط دبی اشل می‌شود

شماره معادله	معادله	فرضیات حاکم بر روابط	معادله اساسی حاکم
R6	$n_e = \left[\frac{1}{A} \sum n_i^{3/2} A_i \right]^{2/3}$	سرعت متوسط کل مقطع برابر با سرعت متوسط هر زیر مقطع می‌باشد	$V = V_i$ $A = \sum A_i, S = S_i$
R10	$n_e = \frac{1}{A} \sum n_i A_i$	سرعت برشی کل مقطع برابر با مجموع وزنی سرعت برشی زیر سطحها می‌باشد	$\sqrt{gRS} = \sum \left(\frac{P_i}{P} \sqrt{gR_i S_i} \right)$
R14	$n_e = \left[\frac{1}{A} \sum n_i^2 A_i \right]^{1/2}$	نیروی مقاوم کل مقطع برابر با مجموع نیروی مقاوم زیر سطحها می‌باشد	$P \gamma R S = \sum P_i \gamma R_i S$ $V_i / V = (R / R_i)^{(2/3)}$

بررسی روابط دبی-اشل در کانالهای مرکب ...

معرف حاکم شدن زبری بینابینی از کانال اصلی و سیلاب گیر خواهد بود.

بیشترین تغییرات n_e بر حسب y زمانی رخ می دهد که y/y_1 تقریباً به مقدار 1.5 برسد و بعد از آن، روند تغییرات n_e به شدت کاهش می یابد.



شکل ۸ تغییرات n_e/n_1 بر حسب y/y_1

گرچه تعریف m مطابق جدول (۳) بر اساس یک مفهوم هیدرولیکی صورت گرفته است، انتظار می رود مناسب ترین مقدار m را بتوان با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و تئوری اختیار نمود. اختیار نمودن مقادیر بزرگ تر m ، منجر به افزایش ضریب زبری معادل می گردد که باعث کاهش دبی خواهد شد. این موضوع برای نسبت های دیگر n_2/n_1 نیز صادق بوده که نتایج آن در این جا آورده نشده است.

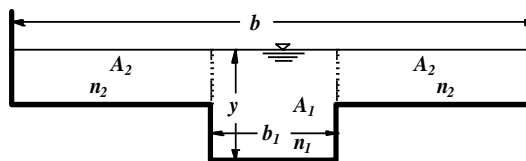
در شکل (۹) تغییرات رابطه Q_a/Q_c به صورت تابعی از نسبت y/y_1 برای $b_2/b_1 = 0.2$ تا 5.0 با یک گام 0.3 براساس معادله R10 ترسیم شده است. اندیس های a و c به ترتیب نشان دهنده مقدار دبی محاسبه شده براساس معادلات (۶-الف) و (۶-ج) می باشند. به منظور حل مسأله عدم پیوستگی در برآورد دبی، توصیه می شود از معادله (۶-ب) استفاده شود؛

با مقایسه روابط: R6، R10 و R14، مشاهده می شود که فرم کلی این معادلات را می توان به صورت معادله (۷) نوشت:

$$n_e = \left[\frac{1}{A} \sum n_i^m A_i \right]^{1/m} \quad (۷)$$

در رابطه فوق، m مقداری است که با توجه به معادله هیدرولیکی حاکم بر فرضیات اتخاذ شده، تعیین می گردد. به عنوان مثال برای معادلات: R6، R10 و R14، مقدار m به ترتیب برابر با 1، 1.5 و 0.5 است.

برای بررسی رفتار معادله پیشنهادی، از مقطع مرکب به کار گرفته شده توسط ورملین و هم [8] ناراک $b = 121$ ، $b_1 = 29$ بل کثیف یا رد. دوشی م-ه دافتسا $y_1 = 12$ cm و y بل کثیف، دشا بی م.



شکل ۷ مقطع کانال مرکب به کار گرفته شده در آزمایشات

ورملین و هم [8] ناراک

فرض می شود زبری ها مطابق آنچه در شکل آمده برای قسمت کانال اصلی $n_m = 0.015$ و برای قسمت سیلاب گیر $n_f = 0.03$ باشد؛ در این صورت با توجه به مقادیر مختلف m ، زبری های معادل مختلفی در ترازهای گوناگون آب در کانال مرکب به دست خواهد آمد.

در شکل (۸)، نمودار تغییرات n_e/n_1 بر حسب y/y_1 برای m های مختلف از 0.5 تا 3 با گام های 0.5 ترسیم شده است. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش تراز سطح آب، زبری های معادل به سمت زبری در قسمت سیلاب گیر میل می کند؛ لکن اختیار نمودن مقادیر کم تر m (مثلاً $m = 0.5$) که در معادله R6 ظاهر شده) منجر به مقادیر کوچک تری از n_e خواهد بود که

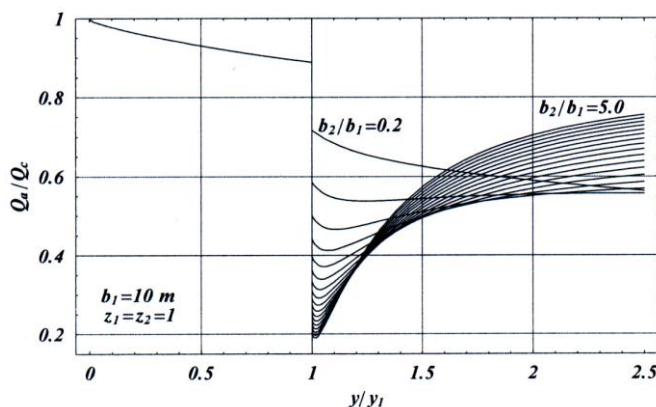
مشاهده می شود که عدم پیوستگی در عمق سیلاب گیر محو شده و با افزایش نسبت عرض سیلاب گیر به عرض کانال اصلی، b_2/b_1 ، دبی نسبی کاهش یافته و منحنی به طور ناگهانی در تراز سطح آب نزدیک به تراز سیلاب گیر پایین می افتد.

نتایج آزمایشگاهی گزارش شده توسط جیمز و براون (James & Brown) [9] بر روی مقایسه اطلاعات اندازه گیری شده و روش های نظری، نشان می دهد هنگامی که تراز سطح آب در مجاورت تراز سیلاب گیر واقع می شود، ($y > y_1$ و $y \cong y_1$) رفتار کانال مرکب مشابه کانال های منفرد می گردد. برای سایر ترازهای سطح آب، بر اساس نتایج حاصله مشاهده می شود چنان هداقتنا در فته لاناکی ارب فرارحه ی اهل و مرفزا ه چه کی ی ارب ق مع زا یرتشی ن یمخته ه بر رجه ا مومع، ددرگ لومرفزا ه کی نامز، س کعلاب و دوشی م ص خشمه ی بد زا یرتم کن یمخته ه بر رجه، دوش هداقتنا از چه ی اهل اناک زا، لائنه ناوئع ه بر ددرگی م ص خشمه ی بد کی ی ارب ق مع (فلا - ۶) تلاداعه راتفری تسرد نییعت ی ارب R10 لومرف (۱۰) ل کشر د. دوشی م هداقتنا (ج - ۶) و (ب - ۶) ی ارب y/y_1 زا ی عبات تروصه ی بسنی بد تارییعت، ل کشر نی ا ه به جوت ا ب. بتسا هداق ن اشذ $b_2/b_1 = 2$ ، دوشی م ص خشمه ی ارب نی یرتشی ه ک $Q_a < Q_b < Q_c$ ، دوشی م ص خشمه ن آن یرتم ک و (فلا - ۶) هداقتنا ه به طوبرم، ش نکردها د شابی م (ج - ۶) هداقتنا ه به طوبرم

زیرا با افزایش تراز سطح آب به بالاتر از تراز سیلاب گیر، تغییر ناگهانی در پیرامون تر شده P رخ داده، ولی افزایش سطح نظیر ناچیز بوده، لذا تغییر شعاع هیدرولیکی R نیز ناچیز خواهد بود. این موضوع باعث می شود که در معادله (۶-ب) نیز تغییرات چندانی ایجاد نشود. به نظر می رسد معادله (۶-الف) دارای اندرکنش بیشتری در مقایسه با معادله (۶-ب) باشد. اولین عامل ایجاد اندرکنش جریان، نحوه تعیین پارامتر n_c و دومین عامل، پارامتر $AR^{2/3}$ است. از منحنی تغییرات دبی با عمق مربوط به معادله (۶-الف)، مشخص می شود که برای یک دبی مشخص، تراز سطح آب بیشتری حاصل شده و در تراز سیلاب گیر، پیوستگی مناسبی مشاهده می شود.

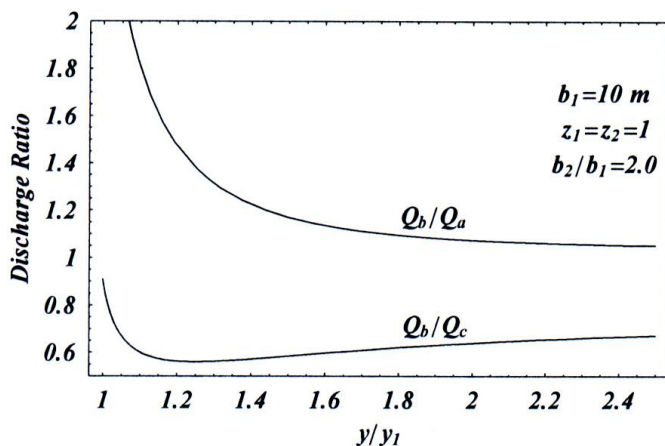
در واقع، معادله (۶-ب) منحنی های تغییرات دبی با عمق را تولید می نماید که در مقایسه با منحنی های به دست آمده از معادله (۶-الف)، دارای حداکثر اندرکنش جریان بین کانال اصلی و کانال های جانبی سیلاب گیر می باشد (روش کانال یک و) ه چراپ ی ارب اری شنکردها ه نوگچ یه ی لک روط ه ب (ج - ۶) هداقتنا (از چه ل اناک شور) دروآی مذ دوجو ه ب نایرج

در شکل (۹)، تغییرات دبی نسبی Q_b/Q_c با عمق نسبی y/y_1 برای مقادیر مختلف $b_2/b_1 = 0.2$ تا 5.0 برای معادله R10 ترسیم شده است. در این شکل،

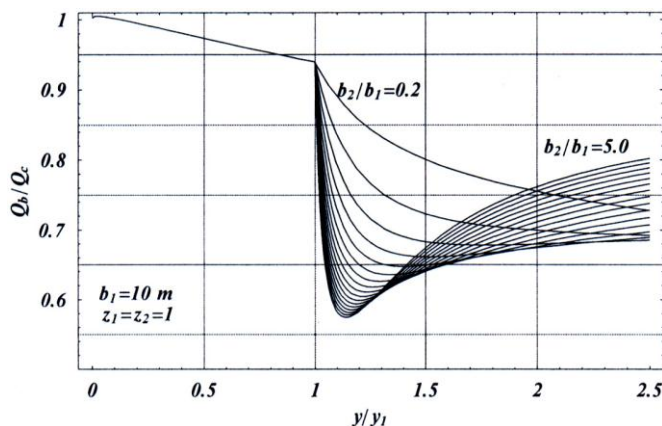


شکل ۹ تغییرات تراز سطح آب با دبی برای مقادیر مختلف $b_2/b_1 = 0.2$ تا 5.0 با گام 0.3 برای دو منحنی متوالی با استفاده از R10

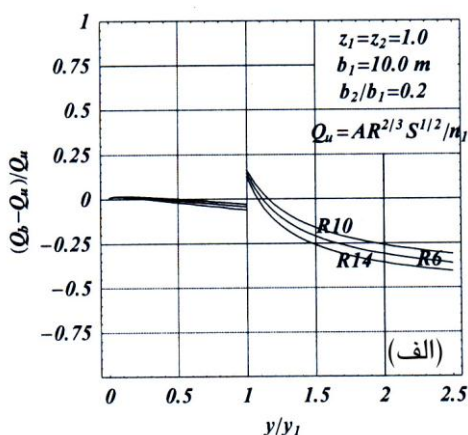
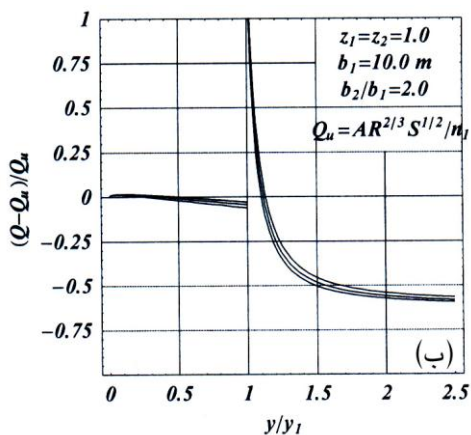
بررسی روابط دبی- اشل در کانالهای مرکب ...



شکل ۱۰ تغییرات دبی نسبی با عمق با استفاده از معادله ۵ (ب)



شکل ۱۱ تغییرات Q_b/Q_c با y/y_1 برای مقادیر مختلف b_2/b_1 از 0.2 تا 5.0 با گام 0.3 برای هر دو منحنی متوالی



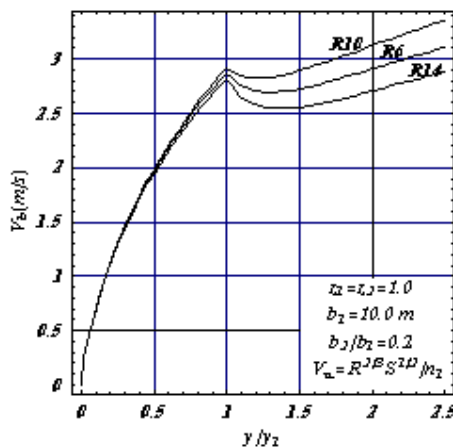
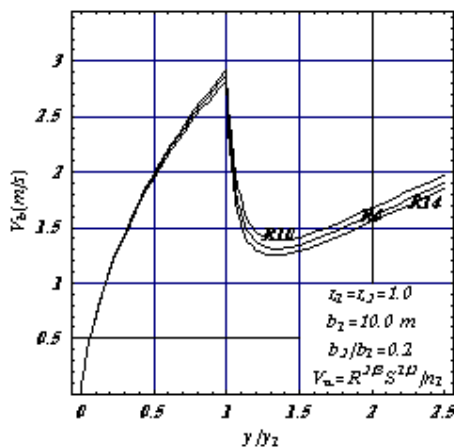
شکل ۱۲ تغییرات $(Q_b - Q_u)/Q_u$ با y/y_1 بر اساس توابع R6, R10 و R14

ب-12) (لکشه ط یار شه ی ارب) b_2/b_1 ش یازفا اب. دشابی م) ب-12) (لکشه ط یار شه ی ارب) ب-12) (لکشه رد 0.2 زا زینذی ربزی تخاونکی ریغ زا ی شانز نکر دناتار ثا عاب، لانا کرد ش نکر دناتار ش یازفا. دبایی م ش یازفا زا یرتم کی هدرنگ هجیتد رد و رتشیذی ژرنا فر صه مدع ش یازفا هب رجنم عوضوم ن یا هک دوشی م نایر ج [10] دشدهاوخ ریگب لایسه زار ت رد ی گتسویپ

در شکل (۱۳) تغییرات سرعت متوسط $V = Q/A$ با عمق نسبی y/y_1 متناظر با شکل (۱۲) ترسیم شده است. در این شکل، مشاهده می شود که حداکثر سرعت در کانال اصلی در حدود 2.83m/s رخ می دهد که این مقدار برای هر سه معادله، تقریباً یکسان است. زمانی که تراز سطح آب، بالاتر از سطح سیلاب گیر می رسد، کاهش ناگهانی در سرعت رخ می دهد که برای حالت $b_2/b_1 = 0.2$ نرخ تغییرات سرعت کم تر می باشد شکل (۱۳- الف).

با مقایسه دو شکل: (۱۳- الف) و (۱۳- ب) مشاهده می شود که تأثیر ضرایب زبری مؤثر در کانال های با سطح مقطع بزرگ تر، کاهش می یابد.

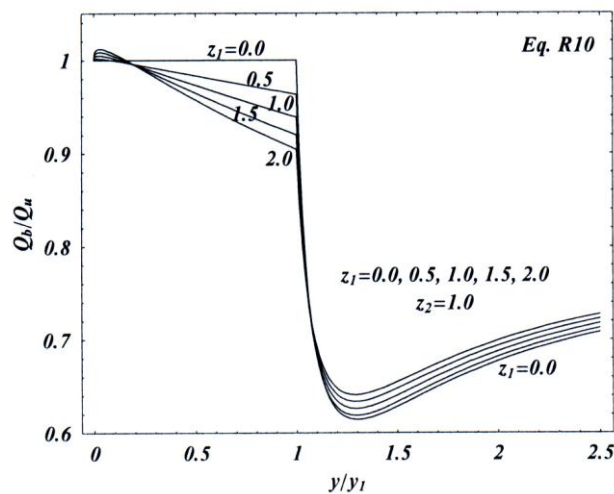
به منظور مشاهده رفتار منحنی دبی با عمق، نمایش گرافیکی: $(Q_b - Q_u)/Q_u$ به صورت تابعی از: y/y_1 ، برای مقادیر: $b_2/b_1 = 0.2, 2.0$ ، برای معادلات: $R6, R10, R14$ در شکل (۱۲) ارائه شده است که در آن، Q_u دبی کانال با زبری یکنواخت n_1 می باشد. زمانی که جریان در محدوده داخلی کانال اصلی واقع می شود، نسبت b_2/b_1 اثری بر روی منحنی تغییرات دبی با عمق ندارد؛ اما زمانی که تراز سطح آب بالا می آید و سطح سیلاب گیر را در بر می گیرد، تغییراتی را می توان مشاهده نمود: نخست آن که برای نسبت b_2/b_1 های کوچک شکل (۱۲- الف)، زمانی که این نسبت افزایش می یابد، عدم پیوستگی بر روی تراز سیلاب گیر چندان حائز اهمیت نمی باشد و هم به نینچ تاریغ تخ رن $y/y_1 > 2.5$ دودحه رد هک دسری م رظنذ ناشنذ) فلأ-12) (لکشه ط یار شه ی ارب) دوشی م رتم ک رایسبی بسذی بد ی ارب ریظنذ ی اهی نحه هک دهدی م رد $b_2/b_1 = 0.2$ تالاحرد $R6, R10$ و $R14$: تالاداعه ی رتشیذی لمصاف ریگیدکی زا) ب-12) (لکشه اب هسیاقه فدمع لیلاد هلمج زا درک ناشنذ رطاخ دیاب هک دانه تفرگ، لانا کرد رتشیذی عطقه حطسه و رتگ رزب ی ربز، عوضوم ن یا



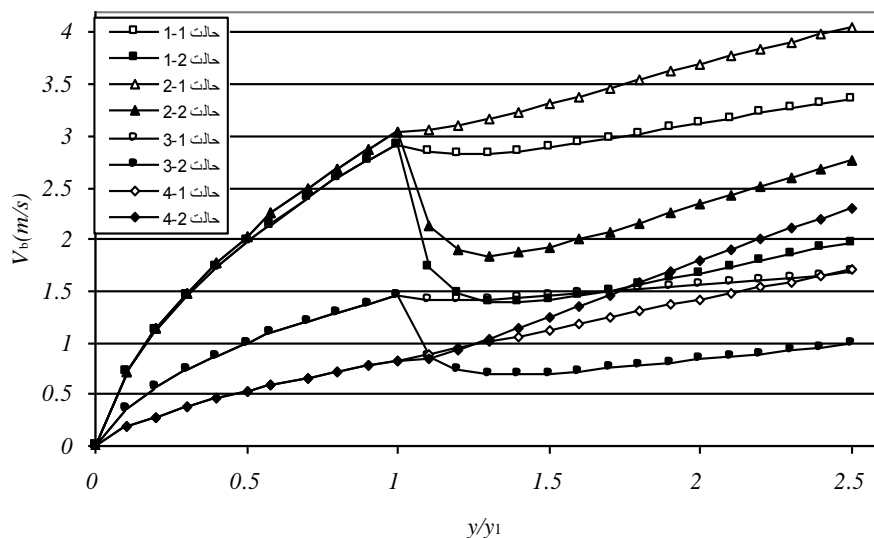
شکل ۱۳ تغییرات V_b با y/y_1 بر اساس توابع $R6, R10, R14$

منحنی‌های تولید شده برای حالت z_1 ثابت و z_2 های متفاوت، شکل (۱۴)، نشان می‌دهد، این منحنی‌ها به یکدیگر نزدیک می‌باشند و حتی برای z_2 ثابت و z_1 های متفاوت (در شکل نشان داده نشده است) نیز منحنی‌ها به یکدیگر بسیار نزدیک بوده که این موضوع نشان دهنده عدم حساسیت شیب جانبی بر روی تغییرات دبی نسبی، هنگامی است که عمق جریان به بالاتر از تراز سیلاب‌گیر می‌رسد.

در شکل (۱۴)، تغییرات: Q_b/Q_u با y/y_1 برای یک کانال مرکب با شرایط: $z_1 = 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ و برای کانال اصلی و دیواره سیلاب‌گیر $z_2 = 1.0$ ترسیم شده است. زمانی که جریان از داخل کانال اصلی عبور نموده و عمق جریان به مرز مشترک بین کانال اصلی و سیلاب‌گیر نزدیک می‌شود، اختلاف تغییرات دبی نسبی برای z_1 های متفاوت افزایش می‌یابد. با فراتر رفتن عمق جریان از مقطع سیلاب‌گیر، نتایج حاصله از



شکل ۱۴ منحنی تغییرات دبی با عمق برای شیب‌های جانبی متفاوت در کانال اصلی و سیلاب‌گیر



شکل ۱۵ تغییرات سرعت متوسط به صورت تابعی از y/y_1 برای چهار حالت مختلف از زبری و دو نسبت b_2/b_1

که جریان به تراز بالاتر سیلاب گیر می‌رسد، در محدوده $y/y_1 = 1.15$ ، نرخ افزایش سرعت، بیشتر شده و برای $b_2/b_1 = 2$ این نرخ، خیلی زیادتر می‌شود (حالت ۴-۱ و ۴-۲).

خلاصه و نتیجه گیری

بررسی ۲۶ فرمول پیشنهادی برای ضریب زبری مانینگ معادل در کانال‌های دوزنقه‌ای ساده و مرکب نشان می‌دهد که فرمول‌های مختلف ارائه شده برای ضریب زبری مانینگ معادل، مقادیر مختلفی را تولید می‌کنند که این عامل باعث تغییر قابل ملاحظه‌ای در منحنی‌های عمق-دبی می‌شود. نتایج حاصله از این مقاله را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱- کاهش شیب دیواره‌های کانال (تمایل به سمت قائم شدن) باعث کاهش دبی می‌شود، ولی در عین حال کاهش شیب‌های جداره سیلاب گیر، تغییر عمده‌ای در کاهش دبی ایفا نمی‌نماید.

۲- با افزایش نسبت پهنا به عمق جریان در یک کانال دوزنقه‌ای ساده، تغییرات فرمول‌های مختلف برای n_e معادل، به سمت زبری کف میل نموده که حداکثر این تغییرات در b_1/y تقریباً مساوی با ۱.۵ رخ می‌دهد.

۳- به منظور ترسیم نمودار دبی اشل در کانال‌های مرکب، تنها سه رابطه: R_6 ، R_{10} و R_{14} که دارای خاصیت پیوستگی در مرز مشترک کانال منفرد و سیلاب گیر است، می‌توان استفاده نمود.

۴- به منظور رعایت ایمنی در طراحی کانال‌ها از لحاظ طغیان، آب‌گرفتگی و پس‌زدگی جریان، پیشنهاد می‌گردد از معادله R_{14} که منجر به تولید تراز سطح آب بیشتر نسبت به سایر معادلات (۲۵ معادله) برای یک دبی مشخص می‌گردد، استفاده شود.

۵- بیشترین تغییرات n_e بر حسب y زمانی رخ می‌دهد

در شکل (۱۵)، تغییرات سرعت متوسط به صورت تابعی از y/y_1 برای چهار حالت مختلف زبری و هر یک برای دو نسبت: $b_2/b_1 = 0.2$ و ۲.۰ نشان داده شده است. در این شکل، عدد اول به حالت زبری و عدد دوم به نسبت فوق‌الذکر اشاره دارد.

(حالت ۱-۱ و ۲-۱):

$$n_4/4 = n_3/3 = n_2/2 = n_1 = 0.015$$

(حالت ۱-۲ و ۲-۲):

$$n_4/3 = n_3/2 = n_2/1.5 = n_1 = 0.015$$

(حالت ۱-۳ و ۲-۳):

$$n_4/3 = n_3/2 = n_2/1.5 = n_1 = 0.03$$

و در حالت ۴-۱ و ۴-۲، $4n_4 = 3n_3 = 2n_2 = n_1 = 0.06$

گرچه زبری در حالت ۲ تقریباً ۷۰٪ زبری در حالت ۱ با زبری بستر یکسان می‌باشد، ولی میزان افزایش سرعت در کانال اصلی، قابل چشم‌پوشی است. با افزایش تراز سطح آب به بالاتر از تراز سیلاب گیر، اختلاف سرعت بین این دو حالت افزایش می‌یابد. در موقعیت: $y/y_1 = 2.5$ برای: $b_2/b_1 = 0.2$ تفاوت سرعت برابر با: 0.67m/s (حالت ۱-۱ و ۱-۲) و برای: $b_2/b_1 = 2$ به 0.83m/s می‌رسد (حالت ۲-۱ و ۲-۲).

شرایط حالت ۳، دقیقاً مشابه شرایط حالت ۱ است؛ با این تفاوت که مقدار زبری در حالت ۳، دو برابر حالت ۱ می‌باشد (حالت ۱-۳ و ۲-۳). شرایط زبری در حالت ۴ به گونه‌ای تغییر داده شده است که حداکثر زبری بر روی بستر، رخ می‌دهد و با فاصله گرفتن از بستر، مقدار آن کاهش می‌یابد. افزایش زبری در کانال اصلی باعث کاهش سرعت به مقدار قابل ملاحظه‌ای نسبت به حالت ۱ می‌شود. برای: $b_2/b_1 = 0.2$ زمانی

بررسی روابط دبی- اشل در کانالهای مرکب ...

(افزایش m باعث افزایش n_e ، و کاهش آن باعث کاهش n_e می شود). از این موضوع می توان نتیجه گرفت که تغییرات m ارتباط معکوس با تغییرات دبی دارد.

۸ مقدار دقیق m را برای یک کانال ذوزنقه ای مرکب از طریق برداشت اطلاعات میدانی و یا آزمایشگاهی همراه با محاسبات هیدرولیکی می توان به دست آورد.

که y/y_1 تقریباً به مقدار 1.5 برسد و بعد از آن روند تغییرات n_e به شدت کاهش می یابد. -۶ با مقایسه روابط: R10, R6, R14 مشاهده می شود که فرم کلی این معادلات را می توان به صورت

$$\text{معادله } n_e = \left[\frac{1}{A} \sum_{i=1}^N n_i^m A_i \right] \text{ نوشت.}$$

۷- تغییرات n_e ، ارتباط مستقیم با مقدار m دارد.

ضمیمه (الف) لیستی از فرمول های ضریب زبری معادل مانینگ

معادله	شماره معادله	معادله	شماره معادله
$n_e = \left[\frac{1}{A} \sum n_i^2 A_i \right]^{1/2}$	(R14)	$n_e = \frac{P \times R^{5/3}}{\sum P_i \times R^{5/3}_i / n_i}$	(R1)
$n_e = \left[\frac{1}{P} \sum n_i^2 P_i \right]^{1/2}$	(R15)	$n_e = \frac{P}{\sum P_i / n_i}$	(R2)
$n_e = \left[\frac{1}{P} \sum n_i^{3/4} P_i \right]^{4/3}$	(R16)	$n_e = \frac{R^{7/6} \sum P_i \times \sqrt{R_i}}{\sum P_i \times R^{5/3}_i / n_i}$	(R3)
$n_e = \left[\frac{1}{PR^{3/8}} \sum n_i^{3/4} P_i R_i^{3/8} \right]^{4/3}$	(R17)	$n_e = \left[\frac{1}{P} \sum n_i^{3/2} P_i \right]^{2/3}$	(R4)
$n_e = \left[\frac{1}{PR^{1/2}} \sum n_i^{3/4} P_i R_i^{1/2} \right]^{4/3}$	(R18)	$n_e = \left[\frac{1}{PR^{3/4}} \sum n_i^{3/2} P_i R_i^{3/4} \right]^{2/3}$	(R5)
$n_e = \left[\frac{1}{PR^{1/8}} \sum n_i^{3/4} P_i R_i^{1/8} \right]^{4/3}$	(R19)	$n_e = \left[\frac{1}{A} \sum n_i^{3/2} A_i \right]^{2/3}$	(R6)
$n_e = \left[\frac{1}{PR^{1/3}} \sum n_i^{1/2} P_i R_i^{1/3} \right]^2$	(R20)	$n_e = \left[\frac{1}{PR^{1/4}} \sum n_i^{3/2} P_i R_i^{1/4} \right]^{2/3}$	(R7)
$n_e = \left[\frac{1}{PR^{7/12}} \sum n_i^{1/2} P_i R_i^{7/12} \right]^2$	(R21)	$n_e = \frac{1}{PR^{1/3}} \sum n_i P_i R_i^{1/3}$	(R8)
$n_e = \left[\frac{1}{PR^{2/3}} \sum n_i^{1/2} P_i R_i^{2/3} \right]^2$	(R22)	$n_e = \frac{1}{PR^{5/6}} \sum n_i P_i R_i^{5/6}$	(R9)
$n_e = \left[\frac{1}{PR^{5/12}} \sum n_i^{1/2} P_i R_i^{5/12} \right]^2$	(R23)	$n_e = \frac{1}{A} \sum n_i A_i$	(R10)
$n_e = \frac{\sum n_i P_i / R_i^{1/6}}{P / R^{1/6}}$	(R24)	$n_e = \frac{1}{PR^{1/2}} \sum n_i P_i R_i^{1/2}$	(R11)
$n_e = \frac{\sum n_i P_i}{P}$	(R25)	$n_e = \left[\frac{R^{1/3}}{P} \sum n_i^2 \frac{P_i}{R_i^{1/3}} \right]^{1/2}$	(R12)
$n_e = \frac{PR^{1.116}}{\sum P_i R_i^{1.116} / n_i}$	(R26)	$n_e = \left[\frac{1}{PR^{2/3}} \sum n_i^2 P_i R_i^{2/3} \right]^{1/2}$	(R13)

مراجع

1. Henderson, F. M. "Open channel flow." Mac Millan, New York, (1967).
2. Chow, V. T. "Open channel flow", McGraw Hill Book Co., New York, (1956).
3. Ackers, P. "Stage – discharge functions for two – stage channels". *Water and Environmental Management*, 7: 52- 61 (1991).
4. Flinham, T. P. and Carling, P. A. "Manning's n of composite roughness in channels of simple cross sections", Centennial of Manning's Formula, Water Research Publications, pp. 328-340, (1992).
5. Bousmar, D. and Zech, Y. "Momentum transfer for practical flow computation in compound channels", *Journal of Hydraulics Engineering*, ASCE, 125(7), 696-706(1999).
6. Yen, B. C. "Open channel flow resistance", ASCE, *Journal of Hydraulic Engineering*, pp. 20-39, 2002.
7. Chen, Y. and Yen, B. C. "Resistance coefficient for compound channels", *Hydraulic Information Management*, pp. 153-1161, Montreal, Canada, May (2002).
8. Wormleaton, P. R., Allen, J. and Hadjipanous, P., "Discharge assessment in compound channels", *J. of the Hydraulics Division*, ASCE, 108(HY9), 975-994, (1982).
9. James, M. and Brown, B. J. "Geometric parameters that influences flood plain flow", Research Report H-77-1, U. S. Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, June (1977).
10. Pang, B. "River flood flow and its energy loss ASCE", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 124, No. 2, Feb. (1998).