



دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده مهندسی

گروه عمران

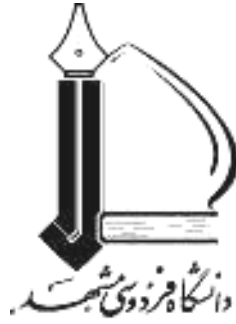
برآورد توزیع سرعت متوسط عمقی و تنش برشی در کانال های باز

مؤلف:

علی بهداد

پایان نامه کارشناسی ارشد عمران – سازه های هیدرولیکی

مرداد ۱۳۸۸



برآورد توزیع سرعت متوسط عمقی و تنش برشی در
کانال های مثلثی باز

علی بهداد

استاد راهنما: دکتر محمود فغفور مغربی

استاد مشاور: مهندس محمد گیوه چی



پایان نامه حاضر تحت عنوان:

برآورد توزیع سرعت متوسط عمقی و تنش برشی در کانال های مثلثی باز

که توسط آقای « علی بهداد » تهیه و جهت اخذ کارشناسی ارشد در رشته عمران، گرایش سازه هیدرولیکی به هیأت داوران ارائه گردیده است، مورد تأیید کمیته تحصیلات تکمیلی گروه عمران می باشد.

درجه ارزشیابی:

نمره:

تاریخ دفاع:

اعضای هیأت داوران:

امضاء	مرتبه علمی	هیأت داوران	نام و نام خانوادگی
	دانشیار	استاد راهنما	۱- دکتر محمود فغفور مغربی
	مربی	استاد مشاور	۲- مهندس محمد گیوه چی
	استادیار	استاد مدعو	۳- دکتر محمد جواد کتابداری
	استاد	نماینده تحصیلات تکمیلی	۴- دکتر فریدون ایرانی



تأییدیه

گواهی می شود که پایان نامه حاضر تاکنون برای احراز هیچ درجه علمی ارائه نشده است و مطالب آن، بجز مواردی که نام مرجع آورده شده است نتیجه کار پژوهشی نگارنده می باشد.

امضاء

علی بهداد

دانشجو

امضاء

محمود فغفور مغربی

استاد راهنما

تشر و قدردانی

سپاس و ستایش خداوندی را که از ازل تا ابد قابل اطمینان ترین راهنما و بی منت ترین راهگشاست. به انجام رسانیدن موفقیت آمیز این پژوهش بدون راهنمایی، حمایت و تشویق بسیاری از عزیزان مقدور نبود. قطعاً نقش برخی از آنان آنچنان موثر بوده است که مایلیم یک به یک از ایشان نام برده و مراتب تشکر و سپاس خود را ابراز نمایم.

بیش از همه از استاد راهنمای فرهیخته جناب آقای دکتر مغربی قدردانی می نمایم. ایشان نه تنها در شکل گیری ایده اولیه این تحقیق نقش اساسی داشته اند، بلکه در تمامی مراحل، اینجانب را از نظرات دقیق و تیزبینه و تجربیات ارزشمند خود بهره مند ساختند.

از استاد مشاور ارجمند جناب آقای مهندس گیوه چی که مرا در به ثمر رساندن پژوهش یاری نمودند، تشکر می نمایم.

انجام مراحل آزمایشگاهی این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی دانشگاه مشهد صورت پذیرفته است و آقایان درانی و همچنین مرحوم آقای انوشیروانی در ایجاد فضای مناسب جهت انجام آزمایش همکاری زیادی کرده اند.

در پایان از پدر و مادرم سپاسگزارم چرا که با شکیبایی و تشویق های خود موجبات دلگرمی و پشتکار لازم برای به سرانجام رساندن این پژوهش را فراهم آوردند.

علی بهداد

فصل اول: پیشگفتار

۱-۱- مقدمه.....	۱
۲-۱- لزوم انجام پژوهش.....	۲
۳-۱- اهداف انجام پژوهش.....	۳
۴-۱- معادلات ناویر-استوکس.....	۵
۱-۴-۱- معادله پیوستگی.....	۵
۲-۴-۱- معادله اندازه حرکت.....	۶
۳-۴-۱- معادله انرژی.....	۸

فصل دوم: سرعت متوسط عمقی

۱-۲- مقدمه.....	۱۰
۲-۲- سرعت متوسط عمقی.....	۱۰
۱-۲-۲- روش Shiono و Knight.....	۱۱
۱-۱-۲-۲- تئوری روش Shiono و Knight.....	۱۱
۲-۱-۲-۲- حل تحلیلی معادله SKM.....	۱۵
۳-۱-۲-۲- شرایط مرزی.....	۱۹
۲-۲-۲- روش Ervine و همکاران.....	۱۹
۳-۲-۲- روش Maghrebi.....	۲۲
۴-۲-۲- روش Baek و Seo.....	۲۳
۵-۲-۲- روش Sooky.....	۲۵
۶-۲-۲- روش Deng و همکاران.....	۲۶
۳-۲- مقایسه روش ها و نتیجه گیری.....	۲۸

فصل سوم: تنش برشی

- ۳-۱- مقدمه..... ۳۴
- ۳-۲- روش "مساحت قائم" (Vertical Area Method)..... ۳۶
- ۳-۳- روش "مساحت عمود" (Normal Area Method)..... ۳۶
- ۳-۴- روش Knight و Shiono..... ۳۷
- ۳-۵- روش Lim و Yang..... ۳۸
- ۳-۶- روش نیمه تحلیلی (Semianalytical Model)..... ۴۳
- ۳-۶-۱- شرایط مرزی..... ۴۵
- ۳-۶-۲- توزیع تنش برشی بستر..... ۴۵
- ۳-۶-۳- توزیع تنش برشی دیواره ها..... ۴۷
- ۳-۷- روش "ادغام عمودی" (Merged Perpendicular Method)..... ۴۹
- ۳-۸- روش Pizzuto..... ۵۱
- ۳-۹- مقایسه روش های تخمین تنش برشی و نتیجه گیری..... ۵۱

فصل چهارم: کارهای آزمایشگاهی

- ۴-۱- مقدمه..... ۵۹
- ۴-۲- فلوم آزمایشگاهی و تجهیزات مورد استفاده..... ۵۹
- ۴-۳- زبری جداره ها..... ۶۳
- ۴-۴- مشخصات مقاطع مثلثی مورد آزمایش..... ۸۶

فصل پنجم: جریان های ثانویه در مقاطع مثلثی

- ۵-۱- مقدمه..... ۷۱
- ۵-۲- الگوی جریان های ثانویه در مقاطع مثلثی..... ۷۲
- ۵-۲-۱- مروری بر تحقیقات گذشته..... ۷۲

- ۷۵-۲-۲-۵- لزوم تعیین الگوی جریان های ثانویه و تغییرات فاکتور اصطکاک.....
- ۷۷-۲-۳-۵- الگوی پیشنهادی جریان های ثانویه در مقاطع مثلثی.....
- ۸۰-۲-۴-۵- تغییرات فاکتور اصطکاک در مقاطع مثلثی.....
- ۸۴-۳-۵- روش جدید تخمین توزیع تنش برشی در کانال های روباز با زبری های غیر یکنواخت.....
- ۸۴-۳-۱-۵- مروری بر تحقیقات گذشته.....
- ۸۷-۳-۲-۵- مبانی ریاضی روش پیشنهادی تخمین تنش برشی.....
- ۸۸-۳-۳-۵- معادلات حاکم بر تخمین تنش برشی به روش پیشنهادی در مقطع مثلثی.....
- ۹۰-۴-۵- مقایسه نتایج آزمایشگاهی سرعت متوسط عمقی با مقادیر تخمینی به روش SKM.....
- ۹۹-۵-۵- مقایسه نتایج آزمایشگاهی تنش برشی با مقادیر تخمینی توسط روش های مختلف.....
- ۱۱۴-۶-۵- نتیجه گیری.....

فصل ششم: جمع بندی، نتایج و پیشنهادها

۱-۶-

۱۱۷.....مقدمه

۱۱۷-۲-۶- جمع بندی و نتایج.....

۱۲۱-۳-۶- پیشنهادها.....

۱۲۴.....مراجع

پیوست ها

۱۲۹..... ضریب همبستگی R پیوست اول

۱۳۰..... ضریب همبستگی $RMSE$ پیوست دوم

۱۳۱..... گواهینامه و نمودار واسنجی مولینه ها پیوست سوم

۱۳۷..... توزیع سرعت متوسط عمقی و تنش برشی در مقاطع مثلثی پیوست چهارم

فهرست اشکال

صفحه	عناوین اشکال
۶.....	شکل (۱-۱) سیال ورودی و خروجی به المان حجمی.....
۷.....	شکل (۲-۱) نیروهای وارده بر المان حجمی از سیال.....
۱۲.....	شکل (۱-۲) (الف) مشخصات جریان در مجاری طبیعی و (ب) دیاگرام آزاد المان..... در امتداد جریان
۱۵.....	شکل (۲-۲) تنش های برشی بر روی المان شیب دار بستر.....
۱۶.....	شکل (۳-۲) تغییر خطی بستر کانال.....
۲۲.....	شکل (۴-۲) مشخصات کانال و جریان در روش Maghrebi.....
۲۴.....	شکل (۵-۲) اثر مقادیر α و β در توزیع سرعت مدل شده با استفاده از تابع بتا [5].....
۲۶.....	شکل (۶-۲) پروفیل سرعت متوسط عمقی و بستر کانال بر اساس روش Sooky [3].....
۲۷.....	شکل (۷-۲) (الف) مشخصه های ابعادی کانال و تغییرات شکل سطح مقطع کانال با تغییرات Ω و (ب) پروفیل سرعت متوسط عمقی بر اساس روش Deng و همکاران
۲۹.....	شکل (۸-۲) مقایسه پروفیل سرعت متوسط عمقی آزمایشگاهی با مقدار تخمین زده شده توسط..... روش های Shiono و Knight [7] و Ervine و همکاران [13] در مقطع مستطیلی
۳۱.....	شکل (۹-۲) مقایسه پروفیل سرعت متوسط عمقی میدانی با مقدار تخمین زده شده توسط..... روش های Seo و Baek [5]، Maghrebi [14] و (الف) Test 2-Sec. 2 (ب) Test 11-Sec. 5
۳۳.....	شکل (۱۰-۲) مقایسه پروفیل سرعت متوسط عمقی میدانی با مقدار تخمین زده شده توسط..... روش Sooky (الف) مقطع با جداره صاف و (ب) مقطع با جداره زبر
۳۶.....	شکل (۱-۳) توصیف شماتیک روش VAM.....
۳۶.....	شکل (۲-۳) توصیف شماتیک روش NAM.....
۴۰.....	شکل (۳-۳) توصیف شماتیک روش YLM (الف) مقطع عریض و (ب) مقطع باریک..... و عمیق [35]
۴۵.....	شکل (۴-۳) مشخصات مقطع کانال در روش Zarrati و همکاران [۵۳].....
۴۹.....	شکل (۵-۳) توزیع تنش برشی بر روی بستر کانال ذوزنقه ای با زوایای..... (الف) $\theta = 120$ ، (ب) $\theta = 136$ و (پ) $\theta = 148$ ، توزیع تنش برشی بر روی دیواره کانال ذوزنقه ای با زوایای، (ت) $\theta = 120$ ، (ث) $\theta = 136$ ،

(ج) $\theta = 148$ [53]

- شکل (۳-۶) توصیف شماتیک روش MPM [45]..... ۵۰
- شکل (۳-۷) مقایسه روش های VAM، NAM و همچنین روش YLM در تخمین تنش..... ۵۳
برشی در کانال های باز مثلثی شکل با مقادیر آزمایشگاهی ارائه شده توسط Lane [33]
- شکل (۳-۸) مقایسه روش NAM و YLM در تخمین تنش برشی در کانال های باز مستطیلی..... ۵۴
شکل با مقادیر آزمایشگاهی ارائه شده توسط Lane [33]
- شکل (۳-۹) مقایسه روش YLM در تخمین تنش برشی در کانال های باز ذوزنقه ای شکل..... ۵۵
با مقادیر آزمایشگاهی ارائه شده توسط Ghosh و Roy [34]
- شکل (۳-۱۰) اثر تعداد المان های بستر و دیواره در دقت تخمین تنش برشی به روش MPM..... ۵۷
- شکل (۴-۱) پلان، نمای جانبی و مقطع عرضی فلوم آزمایشگاهی..... ۶۰
- شکل (۴-۲) نمای جانبی فلوم آزمایشگاهی..... ۶۱
- شکل (۴-۳) (الف) دستگاه اندازه گیری عمق جریان و (ب) مخزن حجمی اندازه گیری دبی..... ۶۲
- شکل (۴-۴) (الف) نمایی نزدیک از قسمت فوقانی سرعت سنج و (ب) اندیکاتور دیجیتالی..... ۶۳
- شکل (۴-۵) ذرات شن با قطر متوسط (الف) ۱۱ میلیمتر و (ب) ۳/۵ میلیمتر..... ۶۴
- شکل (۴-۶) صفحات زیر شده با ذرات شن با قطر متوسط (الف) ۱۱ میلیمتر و (ب) ۳/۵ میلیمتر..... ۶۴
- شکل (۴-۷) استفاده از پلکسی گلاس در ساخت پایه های مقاطع مثلثی..... ۶۷
- شکل (۴-۸) شکل های مختلف شماتیک از مقطع مثلثی..... ۶۷
- شکل (۴-۹) نمونه ای از تبدیل های مورد استفاده در آزمایش مقطع مثلثی..... ۶۸
- شکل (۴-۱۰) توزیع زبری های در نظر گرفته شده در مقطع مثلثی..... ۶۸
- شکل (۵-۱) داکت های مثلثی (الف) خطوط هم سرعت [68] (ب) توزیع سلول های..... ۷۳
جریان های ثانویه [64]
- شکل (۵-۲) توزیع نمادین سرعت در راستای طولی و عرضی در یک کانال [9]..... ۷۵
- شکل (۵-۳) علامت متوسط عمقی ترم $(uw)_d$ [9]..... ۷۵
- شکل (۵-۴) نیمی از مقطع عرضی کانال مثلثی متقارن..... ۷۶
- شکل (۵-۵) مقایسه روش SKM با مقادیر آزمایشگاهی (الف) سرعت متوسط عمقی..... ۷۷
و (ب) تنش برشی
- شکل (۵-۶) توزیع تنش برشی تخمینی به روش YLM..... ۷۸
- شکل (۵-۷) الگوی شماتیک سلول های جریان ثانویه در مقطع مثلثی، تعداد بازه ها..... ۸۰

و علامت پارامتر جریان ثانویه Γ

- شکل (۵-۸) (الف) تغییرات فاکتور اصطکاک (ب) پروفیل سرعت متوسط عمقی..... ۸۲
و (پ) پروفیل تنش برشی
- شکل (۵-۹) تقسیم سطح مقطع دوزنقه ای به نواحی کوچکتر (الف) مقطع عریض..... ۸۶
(ب) مقطع باریک و عمیق [35]
- شکل (۵-۱۰) تقسیم سطح مقطع جریان بر اساس روش جدید پیشنهادی تخمین..... ۸۹
تنش برشی ($n_R < n_L$)
- شکل (۵-۱۱) پروفیل سرعت متوسط عمقی آزمایشگاهی و تخمینی با روش SKM..... ۹۵
(الف) آزمایش ۳ (ب) آزمایش ۱۳ و (پ) آزمایش ۱۵
- شکل (۵-۱۲) پروفیل سرعت متوسط عمقی آزمایشگاهی و تخمینی با روش SKM..... ۹۸
(الف) آزمایش ۱۹ و (ب) آزمایش ۳۵
- شکل (۵-۱۳) پروفیل تنش برشی بر اساس اطلاعات محاسباتی، تخمینی با روش SKM،..... ۱۰۴
YLM و روش جدید پیشنهادی (الف) آزمایش ۱۴ و (ب) آزمایش ۳۹
- شکل (۵-۱۴) پروفیل تنش برشی بر اساس اطلاعات محاسباتی، تخمینی با روش SKM،..... ۱۰۸
YLM و روش جدید پیشنهادی (الف) آزمایش ۸ و (ب) آزمایش ۲۰

فهرست جداول

صفحه	عناوین جداول
۲۸.....	جدول (۱-۲) مشخصات هندسی و هیدرولیکی دو مقطع مستطیلی و مقدار پارامتر R در روش Shiono و Knight و روش Ervine و همکاران
۴۰.....	جدول (۲-۲) مشخصات هندسی و هیدرولیکی دو مقطع و مقدار پارامتر $RMSE$ در روش های Seo و Baek، [14] Maghrebi
۳۵.....	جدول (۱-۳) فهرستی از مهمترین روابط تجربی و روشهای تحلیل و تخمین تنش برشی.....
۵۲.....	جدول (۲-۳) مقایسه روش های VAM، NAM و YLM در تخمین توزیع تنش برشی..... در مقاطع مثلثی با مقادیر آزمایشگاهی
۶۶.....	جدول (۱-۴) ارتفاع زبری و ضریب زبری مانینگ.....
۶۹.....	جدول (۲-۴) لیست آزمایش ها در مقطع مثلثی متقارن.....
۹۲.....	جدول (۱-۵) مشخصات هندسی و هیدرولیکی مقاطع مثلثی با تقارن هندسی و زبری یکنواخت..... و مقایسه نتایج سرعت متوسط عمقی آزمایشگاهی با مقادیر تخمینی به روش SKM
۹۶.....	جدول (۲-۵) مشخصات هندسی و هیدرولیکی مقاطع مثلثی با تقارن هندسی و زبری..... غیر یکنواخت و مقایسه نتایج سرعت متوسط عمقی آزمایشگاهی با مقادیر تخمینی به روش SKM
۱۰۱.....	جدول (۳-۵) مشخصات هندسی و هیدرولیکی مقاطع مثلثی با زبری یکنواخت و مقایسه نتایج..... توزیع تنش برشی تخمینی با روشهای مختلف
۱۰۶.....	جدول (۴-۵) مشخصات هندسی و هیدرولیکی مقاطع مثلثی با تقارن هندسی و زبری..... غیر یکنواخت و مقایسه نتایج توزیع تنش برشی تخمینی با روش SKM
۱۱۰.....	جدول (۵-۵) مشخصات هندسی، هیدرولیکی مقاطع مثلثی با تقارن هندسی و زبری..... غیر یکنواخت و مقایسه نتایج توزیع تنش برشی تخمینی با روش YLM
۱۱۳.....	جدول (۶-۵) سرعت متوسط در سطوح تقسیم شده در مقاطع مثلثی با تقارن هندسی و زبری..... غیر یکنواخت
۱۱۵.....	جدول (۷-۵) مشخصات هندسی، هیدرولیکی مقاطع مثلثی با تقارن هندسی و زبری..... غیر یکنواخت و مقایسه نتایج توزیع تنش برشی تخمینی با روش جدید پیشنهادی

فهرست نمادها

نماد	تعریف
A	مساحت
A_b	سطح اختصاص یافته به بستر
A_w	سطح اختصاص یافته به جداره
b	نصف عرض سطح آب
b_2 و b_1, b_0	ضرایب ثابت
B_b	عرض بستر کانال
c_1	ثابت معرف زبری بستر در روش Maghrebi
c_2	ثابت مرتبط با طبیعت جریان در روش Maghrebi
C	متوسط زمانی غلظت ماده حل شده در سیال
C_2 و C_1	مقادیر ثابت
d_{50}	قطر متوسط دانه ها بر حسب متر
d_{75}	قطر اندازه دانه ای که ۷۵ درصد وزنی ذرات از آن ریزتر باشد
d_{90}	قطر دانه ای است که ۹۰ درصد وزنی ذرات از آن ریزتر باشد
ds	بردار مماس بر المان بستر
e	انرژی ترمودینامیک در واحد جرم
$Error$	خطا
g	شتاب ثقل
g_z و g_y, g_x	مولفه های شتاب ثقل به ترتیب در راستای z, y, x
f	فاکتور اصطکاک داریسی - ویسباخ
$f(\mathbf{r}_N)$	تابع سرعت
Fr	عدد فرود
H	ارتفاع آب
H_c	ارتفاع آب در محور تقارن
H_N	ارتفاع عمود بر بستر در روش مساحت قائم
H_{max}	ماکزیمم ارتفاع آب در مقطع
H_0	ارتفاع آب در شروع شیب

\bar{H}	ارتفاع متوسط مقطع
i	بردار یکه در امتداد جریان (محور x)
k_s	زبری معادل ماسه ای
K_c	عدد ثابت
K_{Ti}	ضریب هدایت گرما در راستای i
l	فاصله عمود بر جداره تا خط تقسیم کننده سطوح
l_b	طول عمود از خط تقسیم بر کف
l_w	طول عمود از خط تقسیم بر جداره کانال
L	طول کانال
L_i	عمود منصف المان i
\hat{L}_i	زاویه خط عمود منصف المان i با محور افق
m	عدد ثابت
M	ضریبی تجربی در روش Ervine
M_2 و M_1	ضرایب ثابت
n	ضریب زبری مانینگ
N_b	تعداد المان در کف
N_s	تعداد المان در دیواره
p	فشار سیال
P	طول محیط مرطوب
P_{MM}	فاصله محل حداکثر تنش برشی آزمایشگاهی از محل تقاطع سطح آب با دیواره چپ مقطع
P_t	محیط مرطوب کل مقطع
q	دبی در واحد عرض کانال
q_i	فلاکس حرارتی در راستای i
Q	دبی
Q_c	دبی تخمینی
r_2 و r_1	اعداد حقیقی
r_N	فاصله بین نقطه دلخواه N تا المان بستر

R	ضریب همبستگی
Re	عدد رینولدز
$RMSE$	جذر میانگین مربعات خطا
R_h	شعاع هیدرولیکی
SKM	مخفف Shiono and Knight Method
s	شیب کرانه کانال
S_f	شیب خط انرژی
S_0	شیب کف کانال
$\%SF_w$	درصدی از نیروی برشی که توسط دیواره ها تحمل می شود
t	زمان
T	دما
u	سرعت لحظه ای در راستای x
u_*	سرعت برشی
U_d	سرعت متوسط عمقی
$(U_d)_{\max}$	ماکزیمم سرعت متوسط عمقی
U_{\max}	ماکزیمم سرعت
U_{Ave}	سرعت متوسط
U_*	سرعت متوسط برشی
\bar{U}	متوسط سرعت در راستای x
\bar{U}_a	سرعت واقعی متوسط
\bar{U}_c	سرعت متوسط تخمینی در راستای طولی
$\tilde{U}(z, y)$	سرعت بی بعد در راستای جریان
v	سرعت لحظه ای در راستای y
\bar{V}	متوسط سرعت در راستای y
w	سرعت لحظه ای در راستای z
w_2 و w_1	به ترتیب فاصله سطح آزاد آب از نقطه ای که بیشترین عمق سیال وجود دارد تا کرانه چپ و راست مقطع

W	عرض سطح آزاد آب
\bar{W}	سرعت متوسط در راستای z
x	راستای مختصات طولی در دستگاه مختصات سراسری
y	راستای مختصات قائم در دستگاه مختصات سراسری
y_0	رقوم سطح آب در دستگاه مختصات سراسری
YLM	مخفف Yang and Lim Method
y_s	رقوم بستر در دستگاه مختصات سراسری
y_w	فاصله عمود بر جداره
z	راستای مختصات عرضی در دستگاه مختصات سراسری
z_c	فاصله از مرکز کانال
z_t	فاصله شروع شیب از مبدا مختصات در مقطع دوزنقه ای در روش Zarrati و همکاران
z_0	مختصه افقی نقطه شروع شیب
z'	فاصله نرمال از مبدا در جهت عرضی
z'_{max}	فاصله نرمال از مبدا در جهت عرضی که محل وقوع ماکزیمم سرعت متوسط عمقی است.
Z	کتابخانه شیب کرانه مقطع
ρ	جرم سیال
τ	تنش مماس بر سطح - تنش برشی
τ_b	تنش برشی بستر
$\bar{\tau}$	تنش برشی متوسط
τ_*	نسبت تنش برشی موضعی τ به $\rho g H S_0$
σ	تنش عمود بر سطح
Δ	ارتفاع زبری
Δ_b	ارتفاع زبری کف
Δ_w	ارتفاع زبری دیواره کانال
Δ_L	ارتفاع زبری دیواره سمت چپ در مقطع مثلثی
Δ_R	ارتفاع زبری دیواره سمت راست در مقطع مثلثی