به نام خدایی که در این نزدیکی است

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده کشاورزی

بررسی برهم‌کنش شکل‌های بستر شنی با تاج مسطح و پوشش گیاهی دیوار بر مولفه‌های جریان آشفته

پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی

شهرزاد داورپناه جزی

اساتید راهنما

دکتر حسین افضلی‌مهر **دکتر عبدالرضا کبیری سامانی**

تیر ماه ۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی خانم شهرزاد داورپناه جزی

تحت عنوان

بررسی برهم‌کنش شکل‌های بستر شنی با تاج مسطح و پوشش گیاهی دیوار بر مولفه‌های جریان آشفته

در تاریخ .....توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر حسین افضلی‌مهر
۲- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر عبدالرضا کبیری سامانی
۳- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر منوچهر حیدرپور
۴- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر سید سعید اسلامیان
۵- استاد داور	دکتر جهانگیر عابدی کوپایی
۶- استاد داور	دکتر سعید سلطانی
۷- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر احمد ریاسی

هدف از دانش، دانش نیست، حضور است و اقدام

نه بریدن از جهان ملموس و محسوس و فرورفتن در خویش

سودمندی‌های حضور را فرو نهادن، جرمی است نابخشودنی.

با سپاس از دکتر حسین افضلی‌مهر که

جوانه‌های درخت دانش را در قلبم بارور ساخت.

با قدردانی بی‌کران از دکتر عبدالرضا کبیری سامانی که

با رهنمودهایش علم را چون شبنم بهاری بر وجودم نشاند و

بذر صبر و بردباری را در خاک سرشتم نهاد.

با تشکر از آقایان دکتر سید سعید اسلامیان و دکتر منوچهر حیدرپور

که همواره آینده‌ای درخشان را برای شاگردان خود رقم می‌زنند

و

با سپاس و ارادت خالصانه خدمت

تمامی عزیزانی که مرا در این راه یاری نمودند.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

موطن آدمی را بر هیچ نقشه نشانی نیست،

موطن آدمی در قلب کسانی است که دوستش می دارند. . .

تقدیم . . .

به پدر و مادر عزیزم

که بدون وجودشان هیچگاه بهشت درونم تجلی نمی یافت و

قادر نبودم آنچه را که امروز کسب نموده ام، به دست آورم.

به یگانه خواهرم

آن مهربان همیشگی و همراه رویاهای کودکیم

و به همسرم

که قلبش سرزمین من است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
چکیده	۱
فصل اول: پیشگفتار	
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- کلیاتی بر اهداف و متدولوژی پژوهش حاضر	۵
فصل دوم: مبانی نظری و پیشینه پژوهش	
۲-۱- مقدمه	۸
۲-۲- شکل‌های بستر	۹
۲-۲-۱- انواع شکل‌های بستر	۹
۲-۲-۲- رژیم جریان در انواع شکل‌های بستر	۱۲
۲-۲-۳- چگونگی شکل‌گیری تلماسه‌ها	۱۲
۲-۲-۴- ابعاد وانواع تلماسه‌ها	۱۵
۲-۲-۵- ساختار جریان بر روی تلماسه‌ها	۱۸
الف- ساختار لایه مرزی	۱۸
ب- ممان‌های سرعت وتنش‌های آشفتگی	۲۰
ج- ساختار آشفتگی‌های بزرگ مقیاس بر تلماسه‌ها	۲۱
۲-۳- پوشش گیاهی	۲۳
۲-۴- مبانی حاکم بر جریان آشفته غیریکنواخت	۲۵
۲-۴-۱- مقدمه‌ای بر جریان آشفته	۲۵
۲-۴-۲- معادله پیوستگی	۲۶
۲-۴-۳- معادله اندازه حرکت رینولدز و تنش‌های متلاطم	۲۷
۲-۴-۴- پارامترهای آشفتگی	۲۸
۲-۵- مروری بر پژوهش‌های پیشین	۳۰
۲-۵-۱- شکل‌های بستر	۳۰
۲-۵-۲- پوشش گیاهی	۴۱
۲-۶- جمع‌بندی فصل و نوآوری پژوهش حاضر	۴۸
فصل سوم: روش مطالعات آزمایشگاهی	
۳-۱- مقدمه	۵۰
۳-۲- ابزار و وسائل آزمایشگاهی	۵۱
۳-۲-۱- کانال آزمایشگاهی	۵۱

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۲-۲- دبی‌سنج	۵۲
۳-۲-۳- عمق‌سنج	۵۲
۳-۲-۴- دستگاه سرعت‌سنج صوتی (*ADV*)	۵۴
۳-۳- نرم‌افزار *WinADV*	۶۱
۳-۴- انتخاب مواد و مصالح	۶۲
۳-۴-۱- شن	۶۲
۳-۴-۲- پوشش گیاهی	۶۳
۳-۵- روند انجام آزمایش‌ها	۶۷
۳-۵-۱- انتخاب ابعاد بستر	۶۷
۳-۵-۲- آزمایش‌های سری اول	۶۹
۳-۵-۳- آزمایش‌های سری دوم	۷۰
۳-۵-۴- آزمایش‌های سری سوم	۷۲
۳-۶- برداشت نیم‌رخ‌های سرعت، اطلاعات اندازه‌گیری شده و پارامترهای مورد بررسی	۷۲
۳-۷- جمع‌بندی فصل	۷۷
فصل چهارم: نتایج و بحث	
۴-۱- مقدمه	۷۸
۴-۲- بررسی توسعه یافتگی و تعادل جریان	۷۸
۴-۳- بررسی تأثیر غربال نمودن داده‌ها	۸۰
۴-۴- نتایج آزمایش	۸۴
۴-۴-۱- آزمایش‌های سری اول	۸۵
۴-۴-۲- آزمایش‌های سری دوم	۱۰۸
۴-۴-۳- آزمایش‌های سری سوم	۱۲۵
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها	
۵-۱- مقدمه	۱۳۴
۵-۲- جمع‌بندی نتایج	۱۳۴
۵-۲-۱ تأثیر پوشش گیاهی بر ساختار جریان در تلماسه‌های با تاج مسطح	۱۳۵
۵-۲-۲ مقایسه ساختار جریان در تلماسه‌های شنی با تاج مسطح و تاج تیز (بدون پوشش گیاهی)	۱۳۶
۵-۲-۳ مقایسه ساختار جریان در تلماسه‌های شنی با تاج مسطح و تلماسه‌های شنی و ماسه‌ای با تاج تیز...	۱۳۸
۵-۳- پیشنهادها	۱۴۰
منابع	۱۴۲

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل۲-۱- مدل مفهومی از تقابل پیچیده فرآیندهای مختلف در کانال‌های آبرفتی	۹
شکل۲-۲- شکل‌های بستر آبراهه‌های با بستر ماسه‌ای	۱۱
شکل۲-۳-الف- شکل بسترهای شکنجی ب- نحوه تشکیل *rogue ripple* ج- شکل بسترهای تلماسه‌ای	۱۴
شکل۲-۴- نمای شماتیکی از یک تلماسه و مشخصات آن	۱۵
شکل۲-۵- نمای شماتیکی از ساختار لایه مرزی بر روی یک تلماسه	۱۹
شکل۲-۶- تولید کُلک و بویل در وجه پایین‌دست تلماسه	۲۲
شکل۳-۱- شکل شماتیک کانال آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش	۵۳
شکل۳-۲- محل قرارگیری حجم نمونه‌برداری از فرستنده مرکزی	۵۷
شکل۳-۳- نمایش دستگاه مختصات اندازه‌گیری سرعت در جهات مختلف نسبت به دستگاه *ADV*	۵۷
شکل۳-۴- نمای شماتیک یک تلماسه با تاج مسطح	۶۸
شکل۳-۵- نمای محل نیم‌رخ‌های برداشت شده در آزمایش‌های سری الف- اول و ب- دوم و سوم	۷۳
شکل۳-۶- فرم‌های مخصوص ثبت داده‌ها	۷۵
شکل۳-۷- فرم‌های مخصوص ثبت داده‌ها	۷۶
شکل۴-۱- نحوه برازش یافتن تقریبی خط با معادله $y=x$ بر داده‌های سرعت	۸۲
شکل۴-۲- مقایسه نیم‌رخ‌های متوسط سرعت نقطه‌ای داده‌های خام و غربال شده	۸۳
شکل۴-۳- مقایسه نیم‌رخ‌های تنش رینولدز و نوسانات سرعت در دو حالت داده‌های خام و غربال شده	۸۴
شکل۴-۴- نمای سه‌بعدی نیم‌رخ‌های سرعت در راستای جریان ($\overline{u}$) در آزمایش‌های سری اول	۸۷
شکل۴-۵- نمای دوبعدی تغییرات نیم‌رخ‌های سرعت در راستای جریان ($\overline{u}$) در آزمایش‌های سری اول...	۸۸
شکل۴-۶- نیم‌رخ‌های بدون بعد سرعت در راستای جریان الف و و- بر روی تاج مسطح...	۸۹
شکل۴-۷- نمای الف- دور و ب- نزدیک از نقشه منحنی‌های هم‌سرعت در راستای جریان...	۹۲
شکل۴-۸- نمای الف- دور و ب- نزدیک از نقشه منحنی‌های هم‌سرعت در راستای عمود بر جریان...	۹۴
شکل۴-۹- نمای تغییرات نیم‌رخ‌های تنش رینولدز ($-\overline{u'w'}$) در آزمایش‌های سری اول...	۹۶
شکل۴-۱۰- نیم‌رخ‌های بدون بعد تنش رینولدز ($-\overline{u'w'}/u^{*2}$) در راستای...	۹۸
شکل۴-۱۱- نحوه برازش منحنی در به دست آوردن سرعت برشی با به کار گیری روش تنش برشی رینولدز	۹۹
شکل۴-۱۲- نمای الف- دور و ب- نزدیک از توزیع تنش رینولدز ($\tau_{xz}= -\rho\overline{u'w'}$) بر روی تلماسه...	۱۰۰
شکل۴-۱۳- نمای الف- دور و ب- نزدیک از توزیع تنش رینولدز ($\tau_{xy}= -\rho\overline{u'v'}$) بر روی تلماسه...	۱۰۱
شکل۴-۱۴- نمای الف- دور و ب- نزدیک از توزیع تنش رینولدز ($\tau_{yz}= -\rho\overline{v'w'}$) بر روی تلماسه...	۱۰۲
شکل۴-۱۵- نمای الف- دور و ب- نزدیک از توزیع نوسانات سرعت در راستای جریان(u_{rms})...	۱۰۳
شکل۴-۱۶- نمای الف- دور و ب- نزدیک از توزیع نوسانات سرعت در مقطع عرضی جریان(v_{rms})...	۱۰۴
شکل۴-۱۷- نمای الف- دور و ب- نزدیک از توزیع نوسانات سرعت در راستای عمود بر جریان(w_{rms})...	۱۰۵

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل۴-۱۸- نیم‌رخ‌های بدون بعد شدت‌های آشفتگی در سه مقطع ابتدایی کانال جهت بررسی تعادل جریان.....	۱۰۶
شکل۴-۱۹- نمای الف- دور و ب- نزدیک از توزیع انرژی جنبشی در طول تلماسه در آزمایش‌های سری اول.....	۱۰۷
شکل۴-۲۰- نمای سه‌بعدی نیم‌رخ‌های سرعت در راستای جریان ($\overline{u}$) در آزمایش‌های سری دوم.....	۱۱۰
شکل۴-۲۱- نمای دوبعدی تغییرات نیم‌رخ‌های سرعت در راستای جریان ($\overline{u}$) در آزمایش‌های سری دوم...	۱۱۱
شکل۴-۲۲- نیم‌رخ‌های بدون بعد سرعت در راستای جریان الف و ی- بر روی تاج مسطح...	۱۱۲
شکل۴-۲۳- نمای الف- دور و ب- نزدیک از نقشه منحنی‌های هم‌سرعت در راستای جریان ($\overline{u}$)...	۱۱۴
شکل۴-۲۴- نمای الف- دور و ب- نزدیک از نقشه منحنی‌های هم‌سرعت در راستای عمود بر جریان ($\overline{w}$)...	۱۱۵
شکل۴-۲۵- نمای تغییرات نیم‌رخ‌های تنش رینولدز ($-\overline{u'w'}$) در آزمایش‌های سری دوم...	۱۱۷
شکل۴-۲۶- نیم‌رخ‌های بدون بعد تنش رینولدز ($-\overline{u'w'}/u^{*2}$) در راستای جریان...	۱۱۸
شکل۴-۲۷- نمای الف- دور و ب- نزدیک از توزیع تنش رینولدز ($\tau_{xz}=-\rho\overline{u'w'}$) بر روی تلماسه...	۱۲۰
شکل۴-۲۸- نمای الف- دور و ب- نزدیک از توزیع تنش رینولدز ($\tau_{xy}=-\rho\overline{u'v'}$) بر روی تلماسه...	۱۲۱
شکل۴-۲۹- نمای الف- دور و ب- نزدیک از توزیع تنش رینولدز ($\tau_{yz}=-\rho\overline{v'w'}$) بر روی تلماسه...	۱۲۱
شکل۴-۳۰- نمای الف- دور و ب- نزدیک از توزیع نوسانات سرعت در راستای جریان(u_{rms})...	۱۲۳
شکل۴-۳۱- نمای الف- دور و ب- نزدیک از توزیع نوسانات سرعت در مقطع عرضی جریان(v_{rms})...	۱۲۴
شکل۴-۳۲- نمای الف- دور و ب- نزدیک از توزیع نوسانات سرعت در راستای عمود بر جریان(w_{rms})...	۱۲۴
شکل۴-۳۳- نمای الف- دور و ب- نزدیک از توزیع انرژی جنبشی در طول تلماسه در آزمایش‌های سری دوم.....	۱۲۵
شکل۴-۳۴- نمای سه‌بعدی نیم‌رخ‌های سرعت در راستای جریان ($\overline{u}$) در آزمایش‌های سری سوم.....	۱۲۸
شکل۴-۳۵- نیم‌رخ‌های بدون بعد سرعت در راستای جریان الف و ی- بر روی تاج مسطح...	۱۲۹
شکل۴-۳۶- نیم‌رخ‌های بدون بعد سرعت در راستای جریان در فواصل مختلف از دیوار در حالت...	۱۳۰
شکل۴-۳۷- نیم‌رخ‌های بدون بعد تنش در راستای جریان در فواصل مختلف از دیوار در حالت...	۱۳۲

فهرست تصویرها

عنوان **صفحه**

تصویر۳-۱- نماهایی از کانال آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش ۵۳
تصویر۳-۲- نمایی از دبی‌سنج الکترومغناطیسی مورد استفاده در این پژوهش ۵۴
تصویر۳-۳- نمایی از عمق‌سنج مورد استفاده در این پژوهش ۵۴
تصویر۳-۴- نمایی از فرستنده و گیرنده‌های دستگاه *ADV* ۵۶
تصویر۳-۵- نمایی از دستگاه سرعت‌سنج *ADV* از نوع *Vectrino+* ۵۸
تصویر۳-۶- صفحه اصلی نرم‌افزار *Vectrino+* ۵۸
تصویر۳-۷- صفحه تنظیمات دستگاه *ADV* در نرم‌افزار *Vectrino+* ۶۰
تصویر۳-۸- ذرات شن مورد استفاده در آزمایش ۶۲
تصویر۳-۹- نمایی از ساقه‌های جمع‌آوری شده گیاه پیزُر آبی ۶۳
تصویر۳-۱۰- گیاه قیاق ۶۵
تصویر۳-۱۱- نمای ساقه‌های (الف) چیده شده گیاه قیاق و (ب) گیاه برنج ۶۵
تصویر۳-۱۲- دسته‌های ۴۰۰ ساقه‌ای گیاه قیاق ۶۶
تصویر۳-۱۳- ساقه‌های گیاه قیاق چسبانده شده بر روی نوارهای کارتن‌پلاست ۶۶
تصویر۳-۱۴- نمای یک تلماسه با تاج مسطح، ساخته شده در آزمایشگاه ۶۸
تصویر۳-۱۵- قالب آلومینیومی جهت شکل‌دهی به تلماسه‌ها ۶۹
تصویر۳-۱۶- نمایی از آزمایش‌های سری اول ۷۰
تصویر۳-۱۷- نماهایی از آزمایش‌های سری دوم ۷۱
تصویر۳-۱۸- نمایی از آزمایش‌های سری سوم ۷۲

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول۳-۱- مشخصات دستگاه سرعت‌سنج *ADV* مدل *Vectrino+* در پژوهش حاضر..... ۷۴
جدول۳-۲- خلاصه‌ای از کلیات شرایط هیدرولیکی و خصوصیات شکل بستر به کار رفته در پژوهش حاضر..... ۷۷
جدول۴-۱- اطلاعات مربوط به مقایسه مقدار سرعت متوسط در داده‌های خام و غربال شده..... ۸۱

چکیده

رودخانه‌ها همواره منبع اصلی تأمین آب مورد نیاز انسان‌ها و عامل اساسی در توسعه جوامع بشری بوده است. از راه‌های شناسایی رفتار رودخانه‌ها بررسی ساختار جریان و مطالعه شکل‌های بستر در آنهاست. ازسوی دیگر پوشش گیاهی با ایجاد زبری در دیواره کانال‌ها و دشت‌های سیلابی رودخانه‌ها بر شکل هندسی، هیدرولیک و مقاومت جریان موجود در آنها تأثیر گذاشته و به دنبال آن بر انتقال رسوب بسیار اثرگذار است. با توجه به اهمیت شکل‌های بستر نظیر تلماسه‌ها، در کنترل میزان انتقال رسوب، تولید آشفتگی و ایجاد مقاومت جریان، مطالعه جزئیات برهم‌کنش شکل‌های بستر، پوشش گیاهی و ساختار جریان ضروری به نظر می‌رسد.

هدف از پژوهش حاضر مطالعه ساختار جریان برروی تلماسه‌های شنی با تاج مسطح به همراه پوشش گیاهی در دیوار بود. برای دستیابی به این هدف تعداد هفت تلماسه مصنوعی با تاج مسطح در طول یک کانال آزمایشگاهی با مقطع مستطیلی به طول ۸ متر، عرض ۰/۴ متر و ارتفاع ۰/۶ متر به طور متناوب ساخته شدند. شن مورد استفاده برای ساختن تلماسه‌ها دارای قطر متوسط ۱۰ میلی‌متر بوده و شکل ذوزنقه‌ای برای آنها در طی آزمایش‌ها ثابت نگه داشته شد. این شکل‌ها در عرض کانال هیچ گونه تغییری نداشتند که بدین ترتیب شکل‌های بستر دوبعدی بودند. همچنین گیاه قیاق (خومه) به عنوان پوشش گیاهی دیوار مورد استفاده قرار گرفت. با در نظر گرفتن توسعه‌یافتگی جریان پس از تلماسه پنجم، کلیه اندازه‌گیری‌های سرعت جریان و مولفه‌های جریان آشفته در حد فاصل تلماسه‌های پنجم و ششم صورت پذیرفت. در مجموع سه سری آزمایش بر روی تلماسه‌ها با طول موج ۰/۹۶ متر، ارتفاع ۰/۰۴ متر، زاویه ایستایی ۲۸ درجه و عمق جریان ۰/۲۸ متر به اجرا درآمد. در سری اول آزمایش‌ها ۱۷ نیم‌رخ و در سری‌های دوم و سوم تعداد ۲۱ نیم‌رخ سرعت برداشت گردید. اندازه‌گیری داده‌های سرعت و آشفتگی با به کارگیری دستگاه سرعت‌سنج صوتی *ADV* انجام گردید. داده‌برداری با فرکانس ۲۰۰ هرتز و به مدت دو دقیقه در هر نقطه صورت گرفت. با در نظر گرفتن فرکانس و مدت زمان اندازه‌گیری و نیز تعداد زیاد نیم‌رخ‌های برداشت‌شده، ۴۵۴۰۰۰۰۰ داده سرعت در کلیه آزمایش‌ها ثبت گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار *WinADV* غربال شده و پس از آن مورد تحلیل قرار گرفتند.

از نتایج قابل توجه در این پژوهش این بود که در تلماسه‌های با تاج مسطح بر خلاف نوع با تاج تیز، در هر دو حالت وجود و عدم وجود پوشش گیاهی، پارامتر سرعت بعد از تاج مسطح مقادیر منفی به خود نمی‌گیرد. با ترسیم نقشه‌های منحنی‌های هم‌سرعت برای سرعت افقی مشخص شد که کمترین مقدار سرعت برابر با صفر بوده که در حالت عدم وجود پوشش گیاهی بر دیواره کانال در ناحیه کوچکی بر روی وجه پایین‌دست تلماسه متمرکز شده است. همچنین در حالت وجود پوشش گیاهی بر دیوار نیز کمینه مقدار سرعت برابر با صفر بوده ولی ناحیه رخداد آن به سمت پایین‌دست تغییر مکان داده و در محل فرورفته تلماسه اتفاق می‌افتد. مشاهده مقادیر سرعت عمودی منفی در هر دو حالت وجود و عدم وجود پوشش گیاهی در سراسر طول تلماسه نشانه‌ای دیگر برای عدم وقوع جدایی در تلماسه‌های با تاج مسطح است. تنش‌های رینولدز در حالت وجود پوشش گیاهی نسبت به حالت عدم وجود آن بیشتر بوده که این موضوع را می‌توان به افزایش مقاومت جریان در حضور این پوشش نسبت داد.

واژه‌های کلیدی: تلماسه شنی با تاج مسطح، تنش رینولدز، پوشش گیاهی در دیوار، مولفه‌های جریان آشفته، شدت‌های آشفتگی.

فصل اول
پیشگفتار

۱-۱ مقدمه

گویند آب مایه حیات است. آری، آب سرچشمه حیات و بهترین جایگاه برای زیستن است. ماده‌ای که با وجود صفا، سادگی و زلال بودن، دارای آثار پیچیده و حتی ناشناخته است. پیش از آنکه بشر در زمین پا به عرصه حیات گذارد، گیاهان و جانوران مختلفی زندگی کرده‌اند که وابستگی کامل به آب داشته‌اند. بسیاری از تمدن‌های کهن برای بهره‌برداری آسان‌تر از آب در اطراف رودخانه‌ها شکل گرفته‌اند. بدین ترتیب به جرأت می‌توان گفت که رودخانه‌ها منبع اصلی تأمین آب مورد نیاز انسان‌ها و عامل اساسی در توسعه جوامع بشری بوده و قرنهاست که آدمی را مجذوب خود ساخته‌اند. اما در عین حال همه ساله سیل یا خشکسالی باعث از بین رفتن مزارع و زمین‌های کشاورزی، سدها، بندها، راه‌ها، پل‌ها و سازه‌های دیگر و همچنین در مواردی موجب ویران شدن اماکن مسکونی و تأسیسات شهری و روستایی، نابودی هزاران انسان و تلفات احشام می‌گردد. از این رو بشر ضمن مطالعه رفتار رودخانه‌ها سعی در شناخت آنها داشته تا ضمن بهره‌برداری هر چه بیشتر از این منابع، خطرات ناشی از سیلاب و طغیان آنها را به حداقل برساند.

مطالعه ویژگی‌های هیدرولیکی جریان در رودخانه‌ها از دیرباز مورد توجه محققان بوده است. تا به امروز بسیاری از دانشمندان و متخصصان علم هیدرولیک، به مطالعه رفتار هیدرولیکی رودخانه‌ها پرداخته‌اند و مهندسی رودخانه به عنوان یکی از شاخه‌های این علم، همواره نظر کارشناسان را به خود معطوف ساخته است. علیرغم اینکه آغاز علم هیدرولیک به طور عام به حدود چهارهزار سال پیش از

میلاد برمی‌گردد، اما دوران پیشرفت علم هیدرولیک و مهندسی رودخانه به زمان لئوناردو داوینچی[۱] (۱۴۵۲-۱۵۱۹) مربوط است. وی با انتشار کتابی در این زمینه اصول اولیه انجام مدل‌های فیزیکی را یادآور شد. گالیله[۲] (۱۵۶۴-۱۶۴۲) ستاره‌شناس معروف معتقد بود که شناخت قوانین حاکم بر حرکت آب نیازمند زمان بیشتری نسبت به کشف راز حرکت ستارگان است. از دانشمندان متعددی که در پیشرفت این علم نقش داشته‌اند می‌توان توریچلی[۳]، هوک[۴]، دکارت[۵]، پاسکال[۶] و نیوتن[۷] را نام برد. دومینکو گلیلمینی[۸] پدر علم مهندسی رودخانه اولین کسی بود که نتایج خود را در قالب کتابی به نام طبیعت رودخانه‌ها[۹] در سال ۱۶۹۷ منتشر کرد [۱].

مهندسی رودخانه به معنای مطالعه، برنامه‌ریزی، طراحی و ساخت سازه‌هایی در مسیر رودخانه به منظور بهبود شرایط آن و برآورده ساختن هر چه بهتر نیازهای انسان از رودخانه‌ها می‌باشد. پدیده فرسایش و انتقال رسوب و به طور کلی هیدرولیک رسوب، یکی از پیچیده‌ترین مسائل هیدرودینامیک در مهندسی رودخانه بوده و با توجه به تأثیر آن بر سازه‌های هیدرولیکی بنا شده در مسیر رودخانه‌ها، نقش به‌سزایی در پیشبرد صحیح مطالعات رودخانه‌ای دارد. رودخانه‌های آبرفتی[۱۰] حاصل فرآیندهای رسوبی ایجادشده بین کانال و دشت سیلابی می‌باشند. این فرآیندها، از طریق حرکت ذرات منفرد تا توسعه کامل پیچان‌رودها[۱۱]، سعی در تعدیل و تنظیم سیستم رودخانه از لحاظ زمانی و مکانی دارند [۸۱]. فرسایش مواد رسوبی بستر و دیواره رودخانه در قسمت‌های بالادست و ته‌نشست این مواد در نواحی پایین‌دست رودخانه سبب تغییر شیب، عمق و مقطع عرضی رودخانه‌ها در نقاط مختلف می‌گردد. در این میان آشفتگی جریان و وجود جریان‌های غیریکنواخت و (در مواقعی) غیردائمی آب نیز مطالعه رفتار رودخانه‌ها را پیچیده‌تر می‌نماید [۶].

بهینه‌سازی رودخانه‌ها یکی از پیشرفت‌های مهم و رایج در علم مهندسی رودخانه است. از جمله مباحث مهم در علم مهندسی رودخانه، شناخت شکل رودخانه، تثبیت سواحل و بستر رودخانه، کانالیزه کردن و کنترل سیلاب می‌باشد. شناسایی شکل و ساختمان رودخانه، مرفولوژی رودخانه نامیده می‌شود. در حقیقت به کمک مرفولوژی رودخانه می‌توان اطلاعاتی از شکل هندسی آبراهه، شکل بستر و پروفیل طولی رودخانه به دست آورد. مرفولوژی یک رودخانه تحت تاثیر عوامل متفاوتی مثل سرعت جریان، فرسایش و نحوه رسوب‌گذاری قرار دارد.

۱- Da Vinci
۲- Guallile
۳- Toricelli
۴- Hooke
۵- Decartes
۶- Pascal
۷- Newton
۸- Guglielmini
۹- Della natura de' fiumi
۱۰- Alluvial Rivers
۱۱- Meandering Rivers

از راه‌های شناسایی رفتار رودخانه‌ها بررسی ساختار جریان و مطالعه شکل‌های بستر در آنهاست. اندازه و شکل ذرات رسوب و چگونگی قرار گرفتن آنها در بستر رودخانه تأثیر قابل توجهی بر فرآیند انتقال رسوب و شکل‌گیری مقطع یک رودخانه دارد. در حقیقت بزرگی ذرات موجود در بستر یک رودخانه، نوع آن را از نظر مرفودینامیکی (شنی، قلوه‌سنگی و یا ریزدانه) معین می‌نماید. همچنین شکل بستر عامل مهمی در تداوم زندگی جانوران آبزی در رودخانه‌ها بوده به طوری که خصوصیات هندسی و هیدرولیکی هر رودخانه، تعیین کننده محل زندگی مناسب برای انواع موجودات آبزی می‌باشد. از این روست که مطالعه شکل‌های بستر و برهم‌کنش آنها با ساختار جریان در توسعه زیستگاه‌های طبیعی و تحکیم آنها از موضوعات مورد علاقه مهندسین رودخانه است. این زیستگاه‌های طبیعی طی فرآیندهای حفظ برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌ها در بستر رودخانه‌ها ایجاد شده و توسعه می‌یابند.

ازسوی دیگر، تحقیقات هیدرودینامیکی در کانال‌های با پوشش گیاهی براساس اندیشه بهینه‌سازی و مدیریت رودخانه و توسعه پایدار منابع آب، در حال گسترش است. در حال حاضر اهمیت تحقیقات هیدرودینامیک و مطالعات با موضوع مقاومت جریان و مکانیزم آشفتگی در کانال‌های با پوشش گیاهی در سراسر دنیا مورد استقبال همگان قرار گرفته است. پوشش گیاهی دارای اهمیت زیادی در مکانیک و ژئومورفولوژی رودخانه‌ها بوده و تأثیر آن به عوامل پیچیده‌ای از جمله شرایط جریان، فاصله اندازه‌گیری سرعت جریان از دیوار (پوشش گیاهی) و نوع پوشش گیاهی مورد استفاده بستگی دارد [۲۳]. بنابراین پوشش گیاهی نیز می‌تواند در جای خود تأثیر به‌سزایی بر کمیت و کیفیت انتقال رسوب داشته باشد، زیرا پوشش گیاهی با ایجاد زبری در دیواره کانال‌ها و دشت‌های سیلابی رودخانه‌ها بر شکل هندسی، هیدرولیک و مقاومت جریان موجود در آنها تأثیر گذاشته و به دنبال آن بر انتقال رسوب بسیار اثرگذار است. هر چند که پوشش گیاهی موجب کاهش ظرفیت کانال می‌شود ولی از طرف دیگر برهم‌کنش کانال با دشت سیلابی را افزایش می‌دهد. در نتیجه این افزایش برهم‌کنش، مقادیر زیاد انرژی فرسایش‌دهنده آب کاهش یافته، ذرات ریز در دشت سیلابی ته‌نشین گشته و بنابراین مقطع رودخانه تحکیم می‌گردد.

بدین ترتیب می‌توان گفت که برهم‌کنش جریان با شکل بستر در رودخانه‌ها ناشی از سه عامل رسوب، جریان و پوشش گیاهی است. پوشش گیاهی با جذب مومنتوم در نزدیک دیوار و افزایش سرعت در بخش مرکزی، ساختار اصلی جریان را در کانال تحت تأثیر قرار می‌دهد. اثر پوشش گیاهی در دیواره‌های کانال را می‌توان به صورت‌های زیر در نظر گرفت:

الف- کاهش تحرک جانبی کانال که موجب پایداری بیشتر مقطع آن می‌گردد.

ب- عمیق‌تر و باریک‌تر شدن کانال با کاهش عرض کانال که سبب توسعه جریان‌های ثانویه و تغییر الگوی جریان‌های اولیه می‌شود.

رودخانه‌ها همواره به صورت‌های مختلف با شکل‌های بستر همراه هستند. این شکل‌های بستر تابعی از ژئولوژی منطقه، مشخصات رسوبات حمل‌شده از بالادست، دبی عبوری و نیروهای هیدرودینامیک در رودخانه می‌باشند. نوع شکل بستر اصولاً به اندازه قطر ذرات رسوب بستگی دارد. شکل‌های بستر با استفاده از مفاهیم هیدرودینامیکی تحت شرایط مشخصی از جریان طبقه‌بندی می‌شوند [۴۳]. طبقه‌بندی بر اساس مفاهیم هیدرودینامیکی منطقی‌ترین طبقه‌بندی اشکال بستر بر پایه تحلیل‌های آزمایشگاهی است [۹۹]، که در فصل دوم در مورد این طبقه‌بندی به طور کامل توضیح داده خواهد شد.

تقریباً همزمان با شروع حرکت ذرات بستر در رودخانه‌ها، فرم‌های مختلف بستر شروع به شکل‌گیری می‌کنند. از رایج‌ترین شرایط مرزی در رودخانه‌های آبرفتی، بسترهای متحرک پوشیده از شکنج‌ها[۱۲] و تلماسه‌ها[۱۳] است [۱۳ و ۶۳]. تلماسه‌ها در محدوده وسیعی از ذرات بسیار ریز و درشت ماسه [۸ و ۷۶] تا ذرات درشت شن [۲۳] می‌توانند تشکیل گردند. در ابعادی مانند تلماسه‌ها، شکل‌های بستر به صورت مانعی در مقابل جریان عمل کرده و مقاومت هیدرولیکی کانال را تحت تأثیر قرار می‌دهند. یک جنبه مهم مهندسی رودخانه، آنچنان که توسط چانگ (۱۹۸۸) تأکید شده است، «تعیین مقدار مقاومت جریان در ارتباط با شکل‌های بستر» می‌باشد [۲۰]. مطالعات افضلی‌مهر و همکاران (۲۰۱۰) نشان می‌دهد که در حالت وجود شکل بستر، بیش از ۷۰٪ مقاومت جریان ناشی از اثر شکل بستر بوده و فقط تا ۳۰٪ ناشی از اندازه زبری ذره می‌باشد [۷].

تعامل اثرات پوشش گیاهی همراه با جریان‌های با سطح آزاد در گوشه و کنار طبیعت به وفور قابل مشاهده است. به عنوان نمونه انتقال آب در مجاری طبیعی با پوشش گیاهی در حاشیه و در داخل کانال، الگوی کاملاً خاص جریان از نظر توزیع سرعت و تنش‌های رینولدز را نشان می‌دهد و ضرورت دارد که در مطالعات مربوط به تعامل جریان، رسوبات و پوشش گیاهی در بررسی‌های هیدرودینامیک و مهندسی رودخانه مورد توجه قرار گیرد. دانش ناکافی از فرآیندهای فیزیکی مقاومت جریان در کانال‌های باز در حضور پوشش گیاهی و جریان غیریکنواخت، ضرورت مطالعه در این رابطه و به‌خصوص در ارتباط با طرح‌های ساماندهی رودخانه‌ها را آشکار می‌سازد. با توجه به اهمیت شکل‌های بستر نظیر تلماسه‌ها، در کنترل میزان انتقال رسوب، تولید آشفتگی و ایجاد مقاومت جریان، ضرورت مطالعه جزئیات برهم‌کنش شکل‌های بستر، پوشش گیاهی و ساختار جریان بیش از پیش مطرح می‌گردد. زیرا که وجود پوشش گیاهی در طول رودخانه و دشت‌های سیلابی باعث افزایش مقاومت و کاهش ظرفیت جریان شده و تغییر در انتقال و ته‌نشینی رسوبات را به دنبال دارد.

با وجود چندین دهه مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی در مورد شکل‌های بستر از جمله تلماسه‌ها، هنوز اطلاعات کاملی در مورد تأثیر متقابل این شکل‌ها، جریان آب و پوشش گیاهی و نیز نحوه تأثیر آنها

۱- Ripples
۲- Dunes

بر پارامترهای هیدرولیکی و مولفه‌های جریان آشفته ارائه نشده است. همچنین پیشرفت در زمینه ابزارهای آزمایشگاهی و توانایی انجام محاسبات با دقت و سرعت بالا توسط رایانه‌ها، انگیزه بیشتر برای چالش در مورد شکل‌های بستر را موجب شده است. بنابراین درک صحیح از تأثیر شکل‌های بستر در حضور پوشش گیاهی بر توزیع سرعت و تنش برشی می‌تواند کمک شایانی در تخمین مناسب ضریب زبری در کانال‌های طبیعی و رودخانه‌ها نماید.

۱-۲ کلیاتی بر اهداف و متدلوژی پژوهش حاضر

اگرچه در تعدادی از پژوهش‌های گذشته تأثیر پوشش گیاهی بر ساختار جریان در حضور تلماسه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است، اما تاکنون در زمینه بررسی برهم‌کنش شکل‌های بستر شنی با تاج مسطح[۱۴] و پوشش گیاهی دیوار بر مولفه‌های جریان آشفته، مطالعه‌ای گزارش نشده است. بدین ترتیب پژوهش حاضر با هدف مطالعه ساختار جریان بر روی تلماسه‌های شنی با تاج مسطح به همراه پوشش گیاهی در دیوار صورت پذیرفت.

به همین منظور تعداد ۷ تلماسه مصنوعی با تاج مسطح در طول یک کانال آزمایشگاهی با مقطع مستطیلی به طول ۸ متر، عرض ۰/۴ متر و ارتفاع ۰/۶ متر به طور متناوب ساخته شدند. شن مورد استفاده برای ساختن تلماسه‌ها دارای قطر متوسط ۱۰ میلی‌متر بود و شکل ذوزنقه‌ای برای آنها در طی آزمایش‌ها ثابت نگه داشته شد. این شکل‌ها در عرض کانال هیچ گونه تغییری نداشتند و بدین ترتیب شکل‌های بستر دوبعدی بودند. در مجموع سه سری آزمایش بر روی تلماسه‌ها با طول موج ۰/۹۶ متر، ارتفاع ۰/۰۴ متر، زاویه ایستایی ۲۸ درجه و عمق جریان ۰/۲۸ متر به اجرا درآمد. در سری اول آزمایش‌ها ۱۷ نیم‌رخ و در سری‌های دوم و سوم تعداد ۲۱ نیم‌رخ سرعت برداشت شد. اندازه‌گیری داده‌های سرعت و آشفتگی با به کارگیری دستگاه سرعت‌سنج صوتی *ADV* انجام گردید. داده‌برداری با فرکانس ۲۰۰ هرتز و به مدت ۲ دقیقه در هر نقطه صورت گرفت. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار *WinADV* غربال گشته و پس از آن مورد تحلیل قرار گرفتند.

بر این اساس در فصل دوم به معرفی موضوع پژوهش و مبانی تئوری حاکم بر آن و سپس به شرح پیشینه مطالعاتی در این خصوص پرداخته می‌شود. در فصل سوم مدل آزمایشگاهی و اجزای آن، ابزار اندازه‌گیری و پارامترهای مورد بررسی معرفی می‌شوند. در فصل چهارم به ارائه نتایج و تجزیه و تحلیل آنها، تفسیر نتایج و ارائه روابط و نمودارهای حاکم پرداخته خواهد شد. نهایتاً در فصل پنجم بر اساس تحلیل‌های صورت‌گرفته بر روی نتایج، جمع‌بندی نهایی و نتیجه‌گیری کلی و سپس پیشنهاداتی برای مطالعات آتی و تکمیل اطلاعات در این خصوص ارائه می‌گردد.

۱- Flat crested dunes

فصل دوم
مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱ مقدمه

در رودخانه‌ها، بستر متحرک بوده و مقاومت در برابر جریان یا ضریب زبری متغیر است. در این حالت، نمی‌توان رابطه مقاومت را به طور مستقیم و بدون آگاهی از نحوه تغییر ضریب مقاومت در شرایط مختلف جریان و رسوب، به کار برد [۳]. شکل بستر[۱]، یا به عبارت دیگر صورت‌های مختلف ناهمواری‌ها که در بستر رودخانه در اثر حرکت جریان به وجود می‌آید، به طور قابل توجه در مفاهیم پایداری مورد بحث قرار می‌گیرد و تأثیر مستقیمی روی زبری بستر و در نتیجه مقاومت در مقابل جریان دارد [۱ و ۸۰]. توسعه شکل‌های بستر در کانال‌های طبیعی و رودخانه‌ها می‌تواند موجب افزایش مقاومت جریان و کاهش انتقال مؤثر دبی به پایین‌دست کانال گردد. روابط مختلفی بین مقاومت در برابر جریان، ترکیب ظاهری بستر و میزان انتقال رسوب وجود دارد [۳].

همان‌گونه که در فصل اول اشاره شد، رودخانه‌های آبرفتی حاصل فرآیندهای رسوبی ایجاد شده بین کانال و دشت سیلابی هستند. پیدایش شکل‌های بستر در رودخانه‌های آبرفتی نخستین بار توسط گیلبرت[۲] گیلبرت[۲] (۱۹۱۴) تشریح شده است [۳۰]. از آنجایی که محاسبات در رابطه دبی- اشل رودخانه (به خصوص در هنگام عبور سیل) و سرعت جریان کاملاً به تعیین زبری شکل بستر بستگی دارد، شناخت

۱- Bedform
۲- Gilbert