



دانشگاه هرمزگان

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی علوم و مهندسی آبخیزداری

عنوان پایان نامه:

شبیه سازی عددی جریان و رسوب توسط مدل CCHE2D
(مطالعه موردی: پیچانرود پایین دست سد میناب)

استاد راهنما:

دکتر احمد نوحه گر

استادان مشاور:

دکتر سیروس ارشادی

دکتر اسدالله خورانی

مهندس محمد فتحی

نگارش:

غلامرضا خسروی

چکیده

این پایان‌نامه سعی دارد مزیت و اهمیت یک مدل عددی را به منظور پیش‌بینی و پایش فرایندهای حاکم بر جریان و رسوب رودخانه، نشان دهد. با توجه به اهمیت سرعت جریان آب و نیروهای تنش برشی بر فرسایش کناره‌های رودخانه، از یک مدل عددی دو بعدی تحت عنوان CCHE2D برای شبیه‌سازی الگوی جریان و رسوب در بازه‌ای از پیچان رود طبیعی (حد فاصل سد تا پل شهرستان میناب- استان هرمزگان) استفاده شد. الگوریتم و پارامترهای مختلفی برای جریان آب و رسوب در یک مدل دینامیک محاسباتی بکار گرفته می‌شوند تا هدف شبیه‌سازی سه بعدی جریان آب را محقق سازند. با این هدف، به صورت آزمایشی به شبیه‌سازی الگوی جریان آب و رسوب در یک بازه‌ی پیچان رودی طبیعی پرداخته شد و تغییرات الگوی جریان و رسوب و تغییرات ریخت‌شناسی را در یک کانال مئاندری با رژیم جریان پایدار ارزیابی گردید. در این بررسی ابتدا نقشه‌های توپوگرافی دقیق با مقیاس مناسب از محدوده مورد مطالعه بدست آمد و سپس هندسه مدل و شبکه محاسباتی با ابعاد مختلف تهیه، و در نهایت بر اساس مشخصات اندازه‌گیری شده جریان و رسوب رودخانه، مدل هیدرودینامیک دو بعدی متوسط عمق، اجرا و پارامترهایی همچون توزیع عمق، سرعت جریان، تنش برشی، دبی ویژه جریان، رژیم جریان، بار معلق و تغییرات بستر در رودخانه استخراج گردید. در پایان، از دو معیار آماری R.M.S.E و M.A.P.E، داده‌های حاصل از شبیه‌سازی مدل عددی را در مقابل داده‌های مشاهده‌ای، مقایسه شد که خطای مدل برای پارامترهای سرعت، عمق و شیب انرژی با شاخص R.M.S.E به ترتیب ۰/۰۷۵، ۰/۱۱۶ و ۰/۰۰۰۸ و با شاخص M.A.P.E به ترتیب ۲/۷، ۶/۲ و ۴/۴ درصد بود. نتایج بیانگر دقت بالا و خطای ناچیز مدل در پیش‌بینی پارامترهای جریان می‌باشد. به دلیل دقت بالای مدل و حجم پارامترهای ورودی دخیل در آن، نتایج ارزیابی مدل به خوبی با تخمین‌ها و شواهد تایید شدند و پارامترهای حاصله از پیش‌بینی مدل، تطابق خوبی با پارامترهای اندازه‌گیری شده در مقاطع طبیعی نشان می‌دهد. لذا، این نتیجه گرفته شد که مدل CCHE2D، از قابلیت خوبی جهت پیش‌بینی مشخصات جریان در رودخانه‌های پیچان برخوردار است. بنابراین، بهره‌گیری از مدل‌های دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای مدل‌سازی جریان آب، ما را یک گام به پیش‌بینی‌های کلی‌تر برای فرایندهای حاکم بر جریان در رودخانه‌های پیچان رودی نزدیک‌تر می‌کند. با این وجود همیشه یک سری محدودیت‌ها و موارد غیر قابل پیش‌بینی در محاسبه دقیق پارامترهای شیب سطح آب و زبری رسوبات آبرفتی کناره‌ها و کف رودخانه برای انجام مدل‌سازی جریان توربولانس وجود دارند که شاید در آینده‌ای نه چندان دور مورد تحقیق و پژوهش قرار گیرد.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی، تنش برشی، مدل عددی CCHE2D، پیچان رود، ضریب زبری

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول
۱	۱- کلیات
۱	۱-۱- بیان مسأله
۳	۱-۲- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق
۴	۱-۳- هدف‌های اساسی تحقیق
۵	۱-۴- مورفولوژی رودخانه‌های پیچان‌رودی (مئاندر)
۵	۱-۴-۱- جریان در رودخانه‌های پیچان‌رود
۹	۱-۴-۲- الگو (شکل) پلان در سیستم‌های رودخانه آبرفتی
۱۰	۱-۴-۲- الگو (شکل) پلان در سیستم‌های رودخانه آبرفتی
۱۴	۱-۵- پیشینه تحقیق
۱۴	۱-۵-۱- مقدمه
۱۴	۱-۵-۲- پژوهش‌های انجام شده در داخل کشور
۱۶	۱-۵-۳- پژوهش‌های انجام شده در خارج از کشور
۲۶	فصل دوم
۲۶	۲-۱- مدل
۲۶	۲-۲- شبیه‌سازی و ضرورت آن
۲۷	۲-۳- مزایا و معایب مدل‌سازی ریاضی و فیزیکی
۲۸	۲-۴- اهداف مدل‌سازی ریاضی در مهندسی رودخانه
۳۱	۲-۵- انواع مدل‌های ریاضی
۳۲	۲-۶- برخی از مدل‌های کامپیوتری توسعه یافته برای مطالعات هیدرودینامیک و رسوب
۳۴	۲-۷- انواع داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل‌ها
۳۶	۲-۸- واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های ریاضی
۳۷	۲-۹- مدل CCHE2D
۳۸	۲-۹-۱- قابلیت و توانایی مدل CCHE2D
۳۸	۲-۹-۲- مراحل عمومی انجام شبیه‌سازی
۴۱	۲-۹-۳- معادلات حاکم

۴۱	۲-۹-۳-۱- معادلات حاکم بر میدان جریان در مدل CCHE2D
۴۴	۲-۹-۳-۲- روش‌های حل معادلات حاکم بر میدان جریان
۴۶	فصل سوم
۴۶	مواد و روش‌ها
۴۶	۳-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
۴۷	۳-۲- مورفولوژی بازه مورد مطالعه رودخانه میناب
۴۸	۳-۳- زمین‌شناسی رودخانه میناب (از محل سد استقلال تا پل شهرستان میناب)
۴۹	۳-۴- هیدرولوژی حوزه آبخیز میناب
۵۴	۳-۵- پوشش گیاهی بازه مورد مطالعه رودخانه میناب
۵۵	۳-۶- اندازه‌گیری داده‌های میدانی و آزمایشگاهی مورد نیاز مدل CCHE2D
۵۵	۳-۶-۱- تهیه نقشه‌های توپوگرافی بزرگ مقیاس از بازه مورد مطالعه
۵۸	۳-۶-۲- اندازه‌گیری سرعت جریان آب
۵۹	۳-۶-۳- اندازه‌گیری دبی جریان آب (Q)
۵۹	۳-۶-۴- اندازه‌گیری عمق آب
۵۹	۳-۶-۵- نمونه برداری رسوب بستر و تفسیر آن در هر بخش
۷۵	۳-۶-۶- وزن مخصوص حقیقی
۷۷	۳-۶-۷- اندازه‌گیری بار معلق
۸۰	۳-۶-۸- زاویه ایستابی ذرات
۸۲	۳-۷- تولید شبکه محاسباتی در مدل عددی CCHE2D
۸۳	۳-۷-۱- ایجاد فضا (محیط) کار
۸۳	۳-۷-۲- بارگذاری داده‌های توپوگرافی
۸۹	۳-۷-۳- تعریف مرزهای بلوک (بازه)
۸۹	۳-۷-۴- تولید شبکه (Generate Mesh)
۹۲	۳-۸- شبیه‌سازی الگوی جریان و رسوب
۹۵	۴-۹- تصویرسازی نتایج شبیه‌سازی
۹۸	۳-۱۰- برآورد نتایج تغییرات بستر
۹۹	فصل چهارم
۹۹	۴- نتایج

۹۹	۴-۱- مقدمه
۹۹	۴-۲- کالیبراسیون (واسنجی) مدل عددی CCHE2D
۹۹	۴-۲-۱- تاثیر زبری در خروجی مدل
۱۰۵	۴-۲-۲- تحلیل حساسیت شبکه محاسباتی و انتخاب بهترین شبکه
۱۰۶	۴-۲-۲-۱- درشت تر کردن شبکه محاسباتی
۱۱۱	۴-۳- مقایسه نموداری اثر تغییر ابعاد شبکه محاسباتی و ضریب زبری
۱۱۴	۴-۴- غلظت بار معلق
۱۱۵	۴-۵- تعیین مقدار شیب انرژی
۱۱۷	۴-۶- تعیین درصد خطای مدل
۱۱۹	فصل پنجم
۱۱۹	۵-۵- بحث، نتیجه گیری نهایی و پیشنهادها
۱۱۹	۵-۱- تحلیل حساسیت شبکه محاسباتی
۱۱۹	۵-۲- زبری
۱۲۰	۵-۳- پارامتر عمق آب
۱۲۳	۵-۴- پارامتر سرعت جریان آب
۱۲۷	۵-۵- پارامتر تنش برشی
۱۲۹	۵-۶- دبی ویژه (دبی در واحد عرض)
۱۳۰	۵-۷- وضعیت جریان
۱۳۱	۵-۸- مدل سازی جریان آشفته (توربولانس)
۱۳۲	۵-۹- پارامترهای بار معلق، فرسایش و رسوبگذاری
۱۳۷	۵-۱۰- نقاط مناسب برداشت شن و ماسه در بازه مورد مطالعه
۱۳۸	۵-۱۱- شیب انرژی
۱۳۹	۵-۱۲- ارزیابی دقت مدل
۱۹۳	۵-۱۳- نتیجه گیری نهایی
۱۳۹	۵-۱۴- راهبردها
۱۴۰	۵-۱۵- پیشنهادات
۱۴۲	نمادهای مورد استفاده در این تحقیق
۱۴۳	منابع

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۲۴	جدول (۱-۱)، خلاصه مطالعات انجام شده با بکارگیری روش های عددی در مسائل رودخانه
۳۳	جدول (۱-۲)، برخی از مدل های هیدرودینامیک و رسوب
۴۴	جدول (۲-۲)، ضرایب ثابت مدل $k - \varepsilon$
۵۱	جدول (۱-۳)، مقادیر دبی حداکثر لحظه ای با دوره بازگشت مختلف
۵۲	جدول (۲-۳)، مقادیر دبی متوسط سالانه با دوره بازگشت مختلف
۵۳	جدول (۳-۳)، مقادیر مجموع مربعات باقی مانده (R.S.S.)
۵۶	جدول (۴-۳)، مختصات جغرافیایی مقاطع اندازه گیری شده
۶۲	جدول (۵-۳)، اطلاعات دانه بندی رسوبات پروفیل (1-POL)
۶۳	جدول (۶-۳)، اطلاعات دانه بندی رسوبات پروفیل (2-POL)
۶۵	جدول (۷-۳)، اطلاعات دانه بندی رسوبات پروفیل (1-A)
۶۷	جدول (۸-۳)، اطلاعات دانه بندی رسوبات پروفیل (1-B)
۶۹	جدول (۹-۳)، اطلاعات دانه بندی رسوبات پروفیل (1-C)
۷۰	جدول (۱۰-۳)، اطلاعات دانه بندی رسوبات پروفیل (2-C)
۷۱	جدول (۱۱-۳)، اطلاعات دانه بندی رسوبات پروفیل (1-D)
۷۳	جدول (۱۲-۳)، اطلاعات دانه بندی رسوبات پروفیل (1-E)
۷۴	جدول (۱۳-۳)، اطلاعات دانه بندی رسوبات پروفیل (2-E)
۷۷	جدول (۱۴-۳)، اطلاعات وزن مخصوص نمونه های برداشت شده
۷۸	جدول (۱۵-۳)، اطلاعات دانه بندی و مقدار بار معلق اولین مقطع و روی بازه مورد مطالعه
۷۹	جدول (۱۶-۳)، اطلاعات دانه بندی و مقدار بار معلق مقطع اندازه گیری (A)
۸۰	جدول (۱۷-۳)، زاویه اصطکاک مواد با اندازه و اشکال مختلف
۸۱	جدول (۱۸-۳)، رابطه بین اندازه ذرات و درصد تخمین توده خاکی حاصل از آنها
۱۰۵	جدول (۱-۴)، مقایسه پارامتر متوسط سرعت جریان (V) در حالت تغییر ضریب زبری
۱۰۵	جدول (۲-۴)، مقایسه پارامتر میانگین عمق جریان (P) در حالت تغییر ضریب زبری
۱۱۱	جدول (۳-۴)، مقایسه پارامتر سرعت متوسط جریان (V) در حالت تغییر ابعاد شبکه محاسباتی
۱۱۱	جدول (۴-۴)، مقایسه پارامتر عمق متوسط جریان (P) در حالت تغییر ابعاد شبکه محاسباتی
۱۱۲	جدول (۵-۴)، مقایسه پارامتر سرعت جریان (V) در حالت تغییر ضریب زبری و ابعاد شبکه

- ۱۱۳ جدول (۴-۶)، مقایسه پارامتر عمق آب (P) در حالت تغییر ضریب زبری و تعداد گره شبکه
- ۱۱۴ جدول (۴-۷)، مقایسه میانگین غلظت بار معلق مشاهداتی و برآوردی معادلات انتقال رسوب
- ۱۱۸ جدول (۴-۸)، مقایسه سرعت جریان، عمق آب و شیب انرژی با R.M.S.E و M.A.P.E

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۵	شکل (۱-۱)، نمایی از تغییرات مورفولوژی در گذر زمان از بازه مورد مطالعه رودخانه میناب
۶	شکل (۲-۱)، نمایی از خم (پیچ) در کانال‌های پیچان رودی
۷	شکل (۳-۱)، نمایی از جهت جریان و حمل رسوب در یک کانال منحنی
۸	شکل (۴-۱)، تصویر مکانیسم تشکیل خم یا پیچ در مئاندر
۹	شکل (۵-۱)، نمایی از تحول الگوی پلان در کانال آبرفتی
۱۰	شکل (۶-۱)، تصویر شکل‌گیری و جابجایی پیچ (خم) در کانال رودخانه
۱۱	شکل (۷-۱)، نمایی از سیستم رودخانه پیچان همراه با Cut-Off های آن
۱۳	شکل (۸-۱)، نمایی از جابجایی و انتقال مئاندر
۳۷	شکل (۱-۲)، روند شبیه‌سازی مدل CCHE2D
۴۶	شکل (۱-۳)، نمایی از موقعیت بازه مورد مطالعه رودخانه میناب
۴۷	شکل (۲-۳)، نمایی از مئاندرهای بازه مورد مطالعه رودخانه میناب
۴۸	شکل (۳-۳)، نمایی از بیرون زدگی سنگی در عرض بستر رودخانه
۵۲	شکل (۴-۳)، برازش و انطباق مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده دبی حداکثر لحظه‌ای
۵۳	شکل (۵-۳)، برازش و انطباق مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده دبی متوسط سالانه
۵۴	شکل (۶-۳)، نمایی از پوشش گیاهی بازه مورد مطالعه رودخانه میناب
۵۷	شکل (۷-۳)، نمایی از مقاطع اندازه‌گیری پارامترهای جریان و رسوب بازه مورد مطالعه
۶۱	شکل (۸-۳)، نمایی از نحوه اندازه‌گیری دانه بندی رسوبات بازه مورد مطالعه
۶۲	شکل (۹-۳)، نمایی از پروفیل‌های مقطع یک
۶۳	شکل (۱۰-۳)، منحنی دانه بندی رسوبات پروفیل (1- POL)
۶۴	شکل (۱۱-۳)، منحنی دانه بندی رسوبات پروفیل (2- POL)
۶۵	شکل (۱۲-۳)، نمایی از پروفیل مقطع دوم
۶۶	شکل (۱۳-۳)، منحنی دانه بندی رسوبات پروفیل (1-A)
۶۷	شکل (۱۴-۳)، نمایی از پروفیل مقطع سوم
۶۸	شکل (۱۵-۳)، منحنی دانه بندی رسوبات پروفیل (1-B)
۶۸	شکل (۱۶-۳)، نمایی از پروفیل‌های مقطع چهارم
۶۹	شکل (۱۷-۳)، منحنی دانه بندی رسوبات پروفیل (1-C)

- ۷۰ شکل (۳-۱۸)، منحنی دانه بندی رسوبات پروفیل (C-2)
- ۷۲ شکل (۳-۱۹)، منحنی دانه بندی رسوبات پروفیل (D-1)
- ۷۲ شکل (۳-۲۰)، نمایی از پروفیل مقطع پنجم
- ۷۳ شکل (۳-۲۱)، نمایی از پروفیل‌های مقطع ششم
- ۷۴ شکل (۳-۲۲)، منحنی دانه بندی رسوبات پروفیل (E-1)
- ۷۵ شکل (۳-۲۳)، منحنی دانه بندی رسوبات پروفیل (E-2)
- ۷۶ شکل (۳-۲۴)، نمایی از نحوه اندازه گیری وزن مخصوص نمونه‌های برداشت شده
- ۷۸ شکل (۳-۲۵)، نمایی از نحوه اندازه گیری بار معلق
- ۷۹ شکل (۳-۲۶)، منحنی دانه بندی بار معلق، الف) مقطع اندازه گیری (A)، ب) خروجی از سد
- ۸۲ شکل (۳-۲۷)، کانال‌های (A) تک بلوکی، (B) تک بلوکی با جزیره، (C) چند بلوکی با انشعاب
- ۸۳ شکل (۳-۲۸)، نمایی از ایجاد فضا (محیط) کار را در نرم افزار C-CHE-MESH
- ۸۵ شکل (۳-۲۹)، نمایی از نقشه نقاط (Point)، توپوگرافی بازه مورد مطالعه
- ۸۶ شکل (۳-۳۰)، نمایی از نقشه خطوط (line)، توپوگرافی بازه مورد مطالعه
- ۸۷ شکل (۳-۳۱)، نمایی از نقشه TIN، بازه مورد مطالعه
- ۸۸ شکل (۳-۳۲)، نمایی از نقشه DEM، بازه مورد مطالعه
- ۸۹ شکل (۳-۳۳)، نمایی از فایل ایجاد شده با پسوند *.mesh_xyz، بازه مطالعاتی
- ۹۰ شکل (۳-۳۴)، نمایی از تولید شبکه جبری
- ۹۰ شکل (۳-۳۵)، نمایی از انواع روش‌های عددی تولید شبکه
- ۹۱ شکل (۳-۳۶)، پنجره ارزیابی شبکه
- ۹۲ شکل (۳-۳۷)، نمایی از نحوه انجام درونیابی تصادفی
- ۹۳ شکل (۳-۳۸)، نمایی از باز کردن یک فایل Geo، برای بازه مطالعاتی رودخانه میناب
- ۹۴ شکل (۳-۳۹)، پنجره تنظیم پارامترهای رسوب
- ۹۵ شکل (۳-۴۰)، نمایی از پنجره عملگر اجرای برنامه
- ۹۶ شکل (۳-۴۱)، نمای از نحوه انتخاب متغیرهای جریان و رسوب از محیط نمایش متغیرها
- ۹۶ شکل (۳-۴۲)، نمایی از توزیع متغیر انتخابی را در جهت‌های I یا J
- ۹۷ شکل (۳-۴۳)، نمایی از جدول داده‌های استخراج شده
- ۹۷ شکل (۳-۴۴)، نمایی از فایل نتایج پیشینه جریان و پنجره ویرایشگر
- ۹۸ شکل (۳-۴۵)، نمایی از نحوه برآورد تغییرات بستر

- شکل (۴-۱)، نمودار مقادیر عمق آب، مقاطع A، B و C و ضرایب زبری محاسباتی و مشاهداتی ۱۰۱
- شکل (۴-۲)، نمودار تغییرات سرعت مقاطع A، B و C و ضرایب زبری محاسباتی و مشاهداتی ۱۰۲
- شکل (۴-۳)، نمودار متغیر تنش برشی مقاطع A، B و C و ضرایب زبری محاسباتی و مشاهداتی ۱۰۳
- شکل (۴-۴)، نمودار متغیر دبی ویژه، مقاطع A، B و C و ضرایب زبری محاسباتی و مشاهداتی ۱۰۴
- شکل (۴-۵)، نمودار تراز عمق آب برای سه مقطع (A، B و C) و شبکه اولیه و بهینه ۱۰۷
- شکل (۴-۶)، نمودار تغییرات سرعت متوسط جریان، مقاطع (A، B و C) و شبکه اولیه و بهینه ۱۰۸
- شکل (۴-۷)، نمودار تغییرات تنش برشی آب، سه مقطع (A، B و C) و شبکه اولیه و بهینه ۱۰۹
- شکل (۴-۸)، نمودار تغییرات دبی ویژه آب، سه مقطع (A، B و C) و شبکه اولیه و بهینه ۱۱۰
- شکل (۴-۹)، مقایسه پارامتر سرعت جریان در حالت تغییر تعداد گره‌های شبکه و ضریب زبری ۱۱۲
- شکل (۴-۱۰)، مقایسه پارامتر عمق آب در حالت تغییر ابعاد شبکه محاسباتی و ضریب زبری ۱۱۳
- شکل (۴-۱۱)، نمودار غلظت بار معلق بر حسب (kg/m^3) ، برای چهار معادله انتقال رسوب ۱۱۴
- شکل (۴-۱۲)، موقعیت خط انرژی و مشخصات هیدرولیکی جریان برای تعیین شیب انرژی ۱۱۶
- شکل (۴-۱۳)، مقایسه مشاهداتی و محاسباتی الف) سرعت جریان، ب) عمق و ج) شیب انرژی ۱۱۷
- شکل (۵-۱)، نمایی از پوشش گیاهی پر تراکم در بستر مستقیم، بالادست بازه مورد مطالعه ۱۲۰
- شکل (۵-۲)، تصاویر توزیع متغیر عمق جریان در بازه مورد مطالعه رودخانه میناب ۱۲۲
- شکل (۵-۳)، نمودار اختلاف ارتفاع سطح آب در ساحل خارجی و داخلی مقاطع قوس، الف) قوس اول، ب) قوس دوم، ج) قوس سوم ۱۲۳
- شکل (۵-۴)، تصاویر توزیع متغیر سرعت در بازه مورد مطالعه رودخانه میناب، الف) تصویر دو بعدی، ب) بردارهای سرعت جریان، ج) تصویر سه بعدی ۱۲۶
- شکل (۵-۵)، تصاویر توزیع متغیر تنش برشی در بازه مورد مطالعه رودخانه میناب، الف) تصویر دو بعدی، ب) تصویر سه بعدی ۱۲۸
- شکل (۵-۶)، تصاویر توزیع متغیر دبی ویژه جریان در بازه مورد مطالعه رودخانه میناب، الف) تصویر دو بعدی، ب) تصویر سه بعدی ۱۲۹
- شکل (۵-۷)، تصویر توزیع متغیر عدد فرود جریان در بازه مورد مطالعه رودخانه میناب ۱۳۱
- شکل (۵-۸)، تصاویر توزیع متغیر بار معلق در بازه مورد مطالعه رودخانه میناب، الف) تصویر دو بعدی، ب) تصویر سه بعدی ۱۳۵
- شکل (۵-۹)، تصاویر تغییرات بستر، فرسایش و رسوب گذاری بازه مورد مطالعه رودخانه میناب، الف) تصویر دو بعدی، ب) تصویر سه بعدی ۱۳۶

- شکل (۵-۱۰)، نمای ساختمان‌های مسکونی ارتفاعات ساحل مقعر، قوس سوم بازه مورد مطالعه ۱۳۷
- شکل (۵-۱۱)، نمایی از رسوب گذاری بار معلق در ساحل محدب قوس سوم بازه مورد مطالعه ۱۳۷
- شکل (۵-۱۲)، نمای گودال‌های برداشت مصالح، ساحل محدب، قوس دوم بازه مورد مطالعه ۱۳۸

فصل اول

۲- کلیات

۱-۱- بیان مسأله

امروزه رودخانه‌ها به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع فراهم کننده آب و انرژی برای انسان، به منزله شاه‌رگ جوامع بشری قلمداد می‌شوند و علیرغم خسارات بی‌شماری که از دیرباز به انسان‌ها وارد نموده‌اند، به دلیل تاثیر ویژه‌ای که در زندگی بشر و شکل‌گیری تمدن‌های مختلف داشته‌اند، همواره مورد توجه بوده‌اند و لذا بررسی رفتار آنها از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. الگوی جریان در رودخانه‌های طبیعی و خصوصاً رودخانه‌های مئاندری، به عنوان یکی از رایج‌ترین انواع رودخانه‌ها در طبیعت، بسیار پیچیده است. الگوی غالب برای شکل رودخانه در پلان پیچان‌رودی می‌باشد. بخاطر حرکت پیچان‌رودها به پائین دست و ناپایداری آن خاک‌های با ارزش کناره‌ها شسته شده و از بین می‌روند؛ علت اصلی این ناپایداری توزیع نامتقارن سرعت در عرض و طول رودخانه می‌باشد (ناجی ابهری، ۱۳۸۷). در قوس رودخانه‌ها معمولاً یافتن محل مناسب آبگیرها، تثبیت کناره‌ها یا بستر فرسایشی و یا انحراف جریان، کارهای کشتیرانی و جانمایی سازه‌های ورود مواد آلوده به رودخانه از جهات مختلف مورد بررسی است و این مسائل به ضعف و قوت جریان‌های ثانویه، خیزاب، توزیع سرعت، توپوگرافی بستر و مشخصات هندسی پیچان‌رود بستگی دارد (مغربی، ۱۳۷۶). بررسی رفتار جریان در رودخانه‌ها توجه به این نکته را ضروری می‌سازد که رودخانه یک فرایند پویا است و رفتار آن بسته به مشخصه‌های ریخت‌شناسی رودخانه در حال تغییر است و در نتیجه این تغییرات، شرایط هیدرولیکی رودخانه نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بنابراین لازم است اثر توأم جریان و رسوب به ویژه در رودخانه‌های ناپایدار مورد توجه قرار گیرد. اغلب جریان‌های جاری در طبیعت از نوع جریان آشفته است، در این جریان‌ها توزیع سرعت، افت انرژی، پخش آلودگی، نیروی برشی کف رودخانه و انتقال رسوب به شدت تحت تأثیر فرایند انتقال آشفته‌گی قرار می‌گیرند؛ همچنین حضور جریان‌های آشفته در قوس رودخانه‌ها می‌تواند به شکل‌گیری جریان‌های ثانویه منجر شود که نقش بسیار مهمی در مورفولوژی رودخانه و انتقال رسوب ایفا می‌کنند؛ از این‌رو، تحلیل الگوی هیدرودینامیک جریان آشفته و درک عملکرد رودخانه دارای اهمیت می‌باشد (تلوری، ۱۳۸۳). در دهه‌های اخیر، فرایندهای حاکم بر جریان آب و حمل رسوب به صورت دقیق‌تر، مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفته است. همچنین، با پیشرفت‌های بوجود آمده در توانمندی کامپیوترها و توسعه روش‌های محاسبات عددی، استفاده از مدل‌های دینامیک سیالات محاسباتی

(CFD)^۱، به صورت چشم‌گیری افزایش یافته است و امروزه کاربرد مدل‌های CFD، به عنوان یک ابزار موثر در دست مهندسين هیدرولیک کانال‌های روباز و فرایندهای رودخانه‌ای محسوب می‌شود. محدوده‌ی کاربرد مدل‌های CFD عبارتند از: دینامیک هوشناسی، جریان آب سطحی و زیرزمینی و انتقال آنها، الکترو دینامیک، شیمی، اقلیم‌شناسی و غیره (شجاعی فرد و همکاران، ۱۳۷۹).

بهبود دقت کدهای CFD نیازمند تصحیح، تایید و توسعه الگوریتم‌های ریاضی پیشرفته است که برای دستیابی به این هدف، ناچار به کاربرد مبانی فیزیکی نوین نیز در این مدل‌ها هستیم. آنچه که باعث دشواری پیش‌بینی الگوی جریان در کانال‌های روباز می‌شود، این حقیقت است که حالت سه‌بعدی و تاثیر آشفتگی را در الگوی جریان آب داریم. از آنجایی که ساختار جریان‌های ثانویه سه‌بعدی می‌باشد، لذا شبیه‌سازی آنها به ویژه در رودخانه‌ها نیاز به مدل‌هایی دارد که جریان آب و حمل رسوب در کناره‌ها و کف رودخانه را به صورت سه‌بعدی بیان نماید. از آنجایی که استفاده از یک مدل سه‌بعدی به دلیل دخالت فرسایش کناره‌ای و پارامترهای دخیل در آن نسبتاً هزینه‌بر است، برخی از محققین مدل‌های دو بعدی را پیشنهاد می‌کنند، که توانایی مقابله با یک مدل سه‌بعدی را از نظر کارایی داشته باشد؛ بدیهی است که تنها مدل‌های دو بعدی‌ای می‌توانند تا حدودی کارایی یک مدل سه‌بعدی را در این مقوله داشته باشند که به نحوی قادر به شبیه‌سازی اثر جریان‌های ثانویه باشند (نشریه شماره ۳۲۰، ۱۳۸۶). از سوی دیگر نگاهی به مطالعات صورت‌گرفته، نشان می‌دهد که هر چند استفاده از مدل‌های سه‌بعدی ممکن است نتایج دقیق‌تری نسبت به مدل‌های دو بعدی داشته باشد، ولی استفاده از آنها نیاز به اندازه‌گیری‌های میدانی دقیق‌تر و استفاده از وسایلی است که اغلب پرهزینه بوده و نصب و راه‌اندازی آنها در شرایط طبیعی فوق‌العاده مشکل است. از این رو استفاده از مدلی دو بعدی با توانایی بالا هم می‌تواند سودمند باشد. لذا با توجه به اهمیت بررسی الگوی جریان و رسوب در رودخانه‌های مائندری، در این تحقیق با کمک مدل دو بعدی CCHE2D، که در مرکز بین‌المللی علوم هیدرولیک و مهندسی محاسباتی (NCCHE)^۲ در دانشکده فنی دانشگاه می‌سی‌سی‌پی آمریکا توسعه یافته است به مطالعه الگوی جریان و رسوب، ظرفیت حمل رسوب و تغییرات بستر، درک هیدرولیک جریان در قوس رودخانه، مطالعه جریان‌های ثانویه، آشفتگی جریان، توزیع سرعت طولی و عرضی، نوسانات سرعت و همچنین تغییرات بردارهای سرعت در پلان و در مقطع عرضی، سرعت جریان در نقاط مختلف و اثر هندسه رودخانه بر آنها، در پیچان رود پایین دست سد میناب (حد فاصل سد تا پل شهرستان میناب)، مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار می‌گیرد.

1- Computational Fluid Dynamics

2- National Center for Computational Hydraulic and Engineering

۱-۲- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق

یکی از اهداف مهم آبخیزداری، بهینه کردن منافع و کمینه کردن خسارت ناشی از جریان در رودخانه‌ها می‌باشد؛ این کار با شناسایی، رفتارسنجی و تحلیل جریان در مسیر رودخانه‌ها میسر می‌گردد. بررسی رفتار جریان در رودخانه‌ها نشان می‌دهد که رودخانه فرایندی پویا بوده و رفتار آن بسته به مشخصات هندسی (ژئومتری)، دائماً در حال تغییر است و بدنبال این تغییرات، شرایط هیدرولیکی رودخانه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. اغلب جریان‌های جاری در طبیعت از نوع آشفته‌اند؛ در این جریان‌ها، پارامترهای توزیع سرعت، افت انرژی، پخش آلودگی، نیروی برشی کف رودخانه و انتقال رسوب، به شدت تحت تأثیر فرایند انتقال آشفته‌گی قرار می‌گیرد؛ به علاوه حضور جریان‌های آشفته در قوس رودخانه‌ها، عامل اصلی شکل‌گیری جریان‌های ثانویه است. بنابراین لازم است که اثر توأم جریان آب و رسوب را به ویژه در رودخانه‌های ناپایدار، مورد توجه قرار گیرد. مطالعات ژئومورفولوژیکی انجام شده بر روی رودخانه میناب نشان می‌دهد که قسمت عظیمی از تغییرات ایجاد شده بر روی بستر و کناره‌های این رودخانه، در اثر جریان آب و رسوب (کمیت و نوع آنها) می‌باشد. با توجه به الگوی غالب پیچان‌رودی رودخانه میناب، این عوامل در آب شکستگی و رسوب‌گذاری در خم‌های رودخانه دارای اهمیت فراوانی هستند، همچنین با احداث سد میناب و متعاقب آن قطع رسوبات انتقالی مخصوصاً رسوب‌های درشت دانه به پایاب سد میناب و نیز بهره‌برداری مصالح آبرفتی از جمله مسائلی است که در این رودخانه باعث تغییرپذیری مسیر بخصوص در محدوده پیچان‌رودها و همچنین سبب تخریب کناره‌ها، عریض شدن بستر و تهدید سازه‌های رودخانه‌ای مانند پل و سد میناب و تهدید مناطق مسکونی و باغات مجاور رودخانه گردیده است. (احمد نوحه‌گر، ۱۳۸۲)، از این رو، تحلیل الگوی هیدرودینامیک جریان آشفته و درک واکنش متقابل رودخانه، خصوصاً در مواردی مثل رسوبگذاری و فرسایش، تثبیت توپوگرافی رودخانه، مکان‌یابی احداث سازه‌ها، ظرفیت حمل رسوب و ... ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

تغییرات جریان‌های آشفته در مقیاس‌های کوچک زمانی و مکانی رخ می‌دهد که موجب می‌شود، حل عددی این نوع جریان‌ها با دو مشکل اصلی روبرو باشد:

۱- نیاز به شبکه‌های محاسباتی ظریف؛

۲- نیاز به گام‌های زمانی^۲ بسیار کوچک (نشریه شماره ۵۴۹، ۱۳۹۰).

همان‌طور که اشاره شد، الگوی جریان به دلیل وقوع تحولات طبیعی و مصنوعی در طول مسیر رودخانه، دائماً دستخوش تغییر می‌شود. به علاوه، الگوی جریان در رودخانه‌ها، حالت کاملاً سه بعدی دارد و

1- Mesh

2- Time Step

مدل‌های سه بعدی، دقیق‌تر می‌توانند الگوی جریان آشفته و طبیعت تأثیرگذار آن بر فرایند فرسایش، حمل رسوب و تغییرات مورفولوژیک رودخانه‌ها را شبیه‌سازی کنند؛ اما استفاده از مدل‌های سه بعدی شبیه‌ساز الگوی جریان مانند (SSIM، FLUENT و CCHE3D)، به دلیل حجم محاسبات بالا و محدودیت‌های موجود در ابزارهای محاسباتی تا حدودی غیراقتصادی و ناممکن می‌باشد، به علاوه اغلب مدل‌های یک بعدی موجود مانند (MIKE11 و HEC-RAS)، از تغییرات رخ داده شده در عرض رودخانه، صرف نظر می‌کنند؛ بدان معنی که نمی‌توانند تغییرات سرعت و فرایند فرسایش و رسوب گذاری را در قسمت عرضی و دیواره یا کناره‌های رودخانه شبیه‌سازی کنند (نشریه شماره ۳۲۰، ۱۳۸۶). بدین ترتیب، توجه به مدل‌هایی معطوف شد که به شبیه‌سازی عددی الگوی جریان در جهت عرضی رودخانه می‌پردازند. لذا در این تحقیق، از میان مدل‌های عددی دو بعدی موجود، مدل دو بعدی CCHE2D، به واسطه‌ی قابلیت‌های منحصر به فرد این مدل (نظیر بهره‌گیری از نرم‌افزار مناسب تولید شبکه، بهره‌گیری از مدل‌های آشفتگی در شبیه‌سازی الگوی جریان و استفاده از روش المان محدود^۱ برای حل عددی معادلات حاکم بر جریان) برای شبیه‌سازی الگوی جریان، انتخاب شد.

۱-۳- هدف‌های اساسی تحقیق

- ۱- بررسی الگوی جریان موثر بر فرسایش کناری و بستری در پیچان رود
- ۲- بررسی نقش الگوی جریان و رسوب در تغییرات و جابه‌جایی مسیر کانال رودخانه
- ۳- بررسی تاثیرات جریانات ثانویه در انتقال بار بستر قوس رودخانه
- ۴- شناسایی رژیم رودخانه از محل ساختگاه سد میناب تا پل میناب
- ۵- مکان یابی و تعیین محل‌های مناسب برداشت شن و ماسه در رودخانه
- ۶- بررسی قابلیت و کارآمدی مدل مورد نظر در شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان و رسوب
- ۷- شناسایی مسائل و مشکلات عوامل فرسایش و تشدید جابه‌جایی مسیر رودخانه و ارائه راهکارهای لازم

و در انتهای مطالعه به سوال اصلی زیر پاسخ داده خواهد شد:

- آیا مدل ریاضی CCHE2D، قابلیت و توانایی شبیه‌سازی و برآورد الگوی جریان و رسوب را در بازه مورد نظر دارد؟

1- Finite element method

۱-۴- مورفولوژی رودخانه‌های پیچان‌رودی (ماندر)

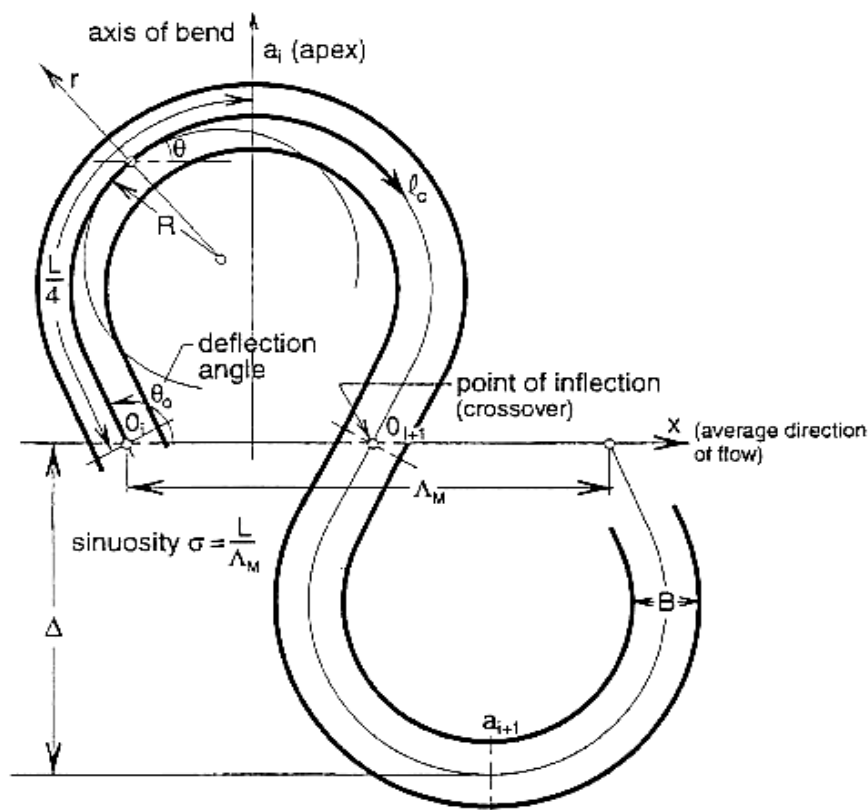
مورفولوژی رودخانه، شناخت تغییرات مکانی (جابه‌جایی) رودخانه در گذر زمان می‌باشد؛ این تغییرات حاصل شرایط مختلفی نظیر تفاوت در رژیم آبدهی، فرسایش، رسوب‌گذاری و غیره می‌باشد که باعث ایجاد دگرگونی‌های هندسی در مسیر رودخانه می‌شود، نظیر: تغییر الگوی آبراهه، جابه‌جایی‌های طولی و عرضی، تشکیل جزایر رسوبی، وقوع میان‌برها و غیره. مطالعه تغییرات مورفولوژیک رودخانه برای درک شرایط کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی رودخانه در آینده ضروری است. به علاوه می‌توان پاسخ رودخانه را به تغییر و تحولات طبیعی و دخالت‌های انسانی تحلیل نمود. (نوحه‌گر، ۱۳۸۲).



شکل (۱-۱)، نمایی از تغییرات مورفولوژی در گذر زمان از بازه مورد مطالعه رودخانه میناب

۱-۴-۱ جریان در رودخانه‌های پیچان‌رود

یالین و داسیلوا (Yalin & DaSilval) در سال ۲۰۰۱ میلادی، تعریف شماتیک و ساده‌ای از کانال پیچان با عرض B و طول انحنای Λ_M ارائه دادند که در شکل شماره (۱-۲)، ملاحظه می‌کنید. طول انحنای پیچ رودخانه، کوتاه‌ترین فاصله‌ی بین نقاط خمیده 0_i و 0_{i+1} می‌باشد. محل خمیدگی در مرکز مقطع فوقانی قرار دارد. طول مناندر یا L ، فاصله میان این دو نقطه در مرکز طول کانال است.



شکل (۲-۱)، نمایی از خم (پیچ) در کانال‌های پیچان‌رودی (یالین و داسیلوا، ۲۰۰۱)

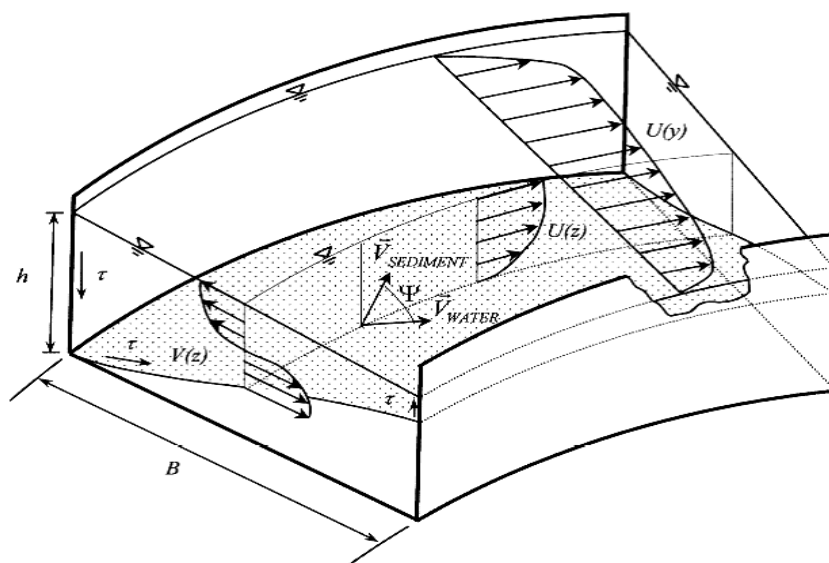
برای تعریف درجه سینوسی شدن خم پیچان‌رود (θ)، پارامتر طول مماندر (L) را به طول انحنای پیچ (Λ_M) تقسیم می‌کنیم. در مقطع بالایی قوس، پارامتر راس زاویه یا a_i قرار دارد؛ این پارامتر در قسمت نوک خم قرار می‌گیرد.

پارامتر دیگری به نام $L/4$ هم در پیچان‌رود تعریف می‌شود که دقیقاً پس از محل انحناء قرار دارد. کمترین فاصله بین نقطه انحناء و راس زاویه در محل قوس را عرض پیچان‌رود یا دامنه Δ_M نامیده می‌شود. ساحل خارجی (بیرونی) رودخانه را در اصطلاح مقعر و ساحل داخلی (درونی) آن را محدب گویند. زاویه خمیدگی یک قوس از پیچان‌رود یا θ_0 را زاویه ممانداری می‌گویند که از لحاظ نظری θ_0 در محدوده ۰ تا ۱۳۵ درجه قرار می‌گیرد.

به طور کلی حرکت جریان آب و رسوب در یک کانال انحرافی، تحت تاثیر حرکات مارپیچی ستون جریان آب می‌باشد که در اصطلاح هیدرولیک، جریان حلزونی نامیده می‌شود. این فرایند بر اثر نیروهای تشدید شونده‌ی گریز از مرکز ذرات آب شکل می‌گیرد که در ابتدا در سطح آب تشکیل شده و سپس به

دو سمت پیچ انتقال می‌یابند؛ همین امر باعث پیدایش اختلاف فشار بین خط جریان پیچ داخلی و خارجی می‌شود. (تلوری، ۱۳۸۳).

با بررسی دقیق پروفیل‌های سرعت در شکل شماره (۱-۳)، تحلیل فوق تایید می‌شود. این طرح، توسط نیلز روتر (Ruther) در سال ۲۰۰۶ میلادی ارائه شد. بردارهای سرعت عرضی در سطح آب در دیواره (قوس) مقعر رودخانه تشکیل می‌شوند، جایی که جریان تحتانی در کناره محدب، به حالت مستقیم الخط در می‌آید.



شکل (۱-۳)، نمایی از جهت جریان و حمل رسوب در یک کانال منحنی (روتز، ۲۰۰۶)

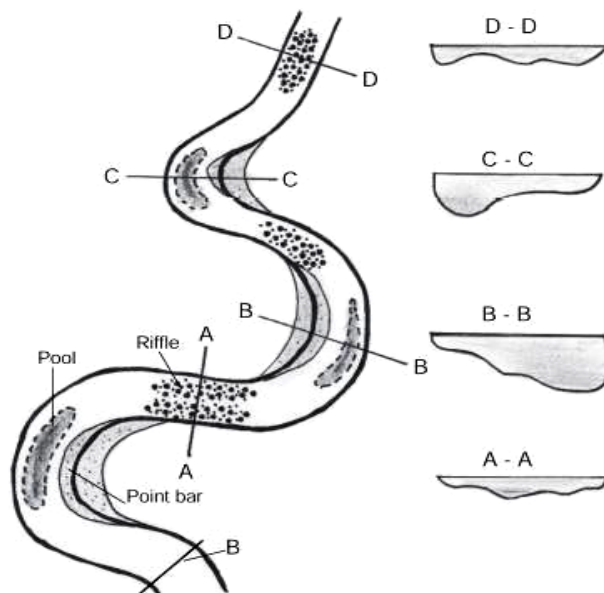
بردارهای سرعت عرضی در سطح آب با جهت اصلی جریان، تشکیل حرکاتی مارپیچ را می‌دهند که در خم رودخانه‌ها اتفاق می‌افتد. ذرات رسوب حمل شده، تحت تاثیر همین حرکات مارپیچی، تدریجاً به سمت بخش داخلی قوس (انحناء محدب) جابه‌جا می‌شوند و بعداً به دلیل کوچکتر شدن اندازه سرعت جریان، رسوبگذاری صورت گرفته و در نهایت ایجاد جزایر پراکنده^۱ را داریم.

جزایر پراکنده عمدتاً متشکل از مواد و رسوبات دانه ریزی‌اند که از ساحل مقعر رودخانه، فرسایش یافته‌اند و سپس با حرکات مارپیچی جریان به سمت کناره محدب (داخلی) حمل می‌شوند. همین امر باعث می‌شود، شیب جانبی رسوبات از کناره مقعر (بیرونی) تا کناره محدب روند کاهشی داشته باشد. در شیب خاصی از جزایر پراکنده، نیروی گرانش به شدت افزایش می‌یابد و به تبع آن، ذرات رسوب حالت پیچ خورده‌ای پیدا می‌کنند؛ سپس ذرات رسوب، مسافتی کوتاه در جهت نیروی برشی بستر (\bar{V}_{Water}),

1- Point Bar

حرکت می کنند، این ذرات با زاویه مخصوصی به نام ρ ، نسبت به راستای نیروی برشی بستر قرار می گیرند که در اصطلاح $\bar{V}_{Sediment}$ نام دارد. به این ترتیب حمل رسوبات به حالت تعادلی در می آید، یعنی همواره ذرات رسوب در یک شیب فرضی، بین محدوده جریان ثانویه (رو به بالا) و نیروی گرانش (رو به پایین) در تعادل می باشند.

شکل شماره (۴-۱)، مربوط به تحقیق مونت (Mont)، در سال ۱۹۷۰ میلادی است که مکانیسم تشکیل خم یا پیچ در مئاندر را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، ساحل مقعر مدام در جهات عمودی و عرضی در حال فرسایش (کنش) است. به علت افزایش نیروی برشی ناشی از حرکات مارپیچی جریان آب، نهایتاً جزیره رسوبی پراکنده در ساحل محدب رودخانه تشکیل می شود؛ لذا بتدریج کاهش سرعت جریان آب را داریم و ذرات رسوب به دلیل کاهش انرژی حمل سیال، تمایل به ته نشین شدن دارند. با نگاهی دقیق به مقطع (C-C) و (B-B)، در شکل شماره (۴-۱)، می توان بخش عمیق فرسایش یافته در ساحل مقعر رودخانه و ایجاد جزایر رسوبی و کاهش عمق آب را در ساحل محدب رودخانه مشاهده نمود. مقاطع (A-A) و (D-D)، نیز، توپوگرافی بستر را در یک مقطع عرضی نمایش می دهند. در این محدوده نیز عمق آب خیلی کم است و بستر رودخانه توسط یکسری زنجیره های آبگیر (خیز آب)^۱ متمایز می شود.

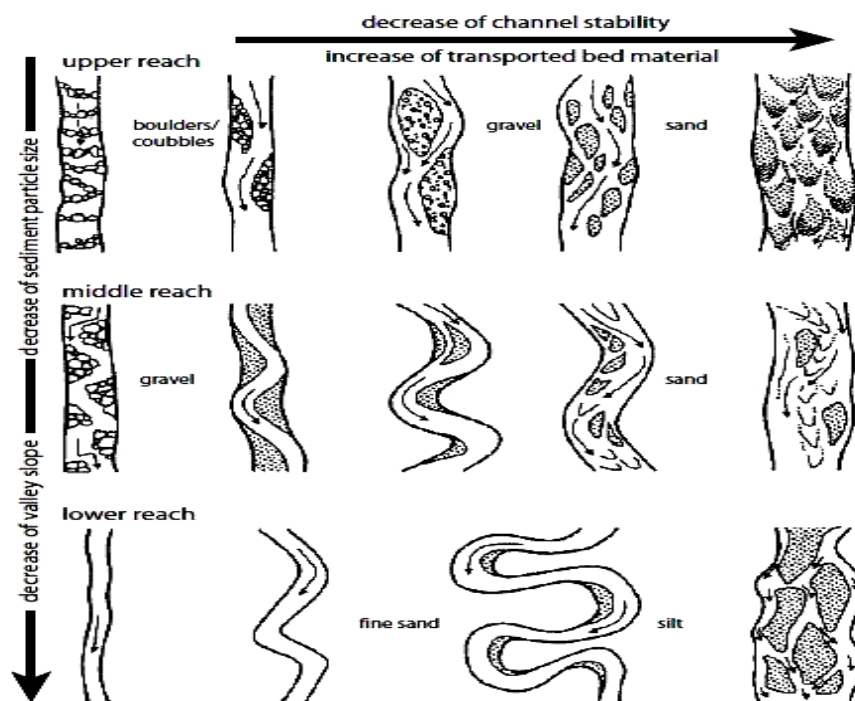


شکل (۴-۱)، تصویر مکانیسم تشکیل خم یا پیچ در مئاندر (مونت، ۱۹۷۰)

1- Riffle

۱-۴-۲- الگو (شکل) پلان در سیستم‌های رودخانه آبرفتی

همان‌طور که گفته شد، رودخانه‌ها دایما در حال جابجایی و حرکات مارپیچی می‌باشند. برخی از طبقه بندی‌های رودخانه‌ها، تفاوت‌های عمده‌ای از لحاظ الگوی کانال رودخانه و فرایندهای حاکم بر آن دارند. بطور معمول، الگوی رودخانه‌ها در دو رده (طبقه) عمومی قرار می‌گیرند: کانال‌های منفرد و چندگانه. بر این اساس، محققین مختلف، رده‌بندی‌های متفاوتی در خصوص الگوی کانال رودخانه‌ها ارائه نموده‌اند. لئوپولد و ولمن (Leopold & Wolman)، در سال ۱۹۹۴ میلادی بر اساس رابطه میان شیب و دبی، الگوی رودخانه‌ها را از لحاظ کمی به سه دسته: مستقیم، پیچان و شاخه شاخه (شریانی)^۱ تقسیم بندی کردند.



شکل (۱-۵)، نمایی از تحول الگوی پلان در کانال آبرفتی (لئوپلد و ولمن، ۱۹۹۴)

در محدوده بالادست رودخانه که ارتفاع حداکثر و شیب تند است، کانال رودخانه تمایل زیادی به مستقیم الخط (راست) ماندن دارد؛ با کاهش شیب کانال، رودخانه شروع به توسعه جزایر و تشکیل مئاندرهای متوالی خواهد کرد. در این مرحله، اگر ظرفیت حمل بار رسوب در جریان ورودی به شدت افت (کاهش) پیدا کند، ساختارهای شریانی در کانال شکل می‌گیرند.