



نظریه‌های ایجاد و تحول

# پیشانی و دها

نویسندگان:

دکتر امیر حمزه حقی‌آبی، دکتر مهدی حبیبی، دکتر نصرالله جواهری،

دکتر محمد رضا احمدی پور

(اعضاء هیئت علمی دانشگاه لرستان)

ویراستار فنی: دکتر بهروز نصیری (عضو هیات علمی دانشگاه لرستان)

ویراستار ادبی: دکتر مراد چگنی (عضو هیات علمی دانشگاه لرستان)

این کتاب با تسهیلات حمایتی دانشگاه لرستان منتشر شده است

حقی‌آبی، امیرحمزه، ۱۳۵۱ -

نظریه‌های ایجاد و تحول پیچان‌رودها/امیرحمزه حقی‌آبی،

مهدی حبیبی، نصرالله جواهری، محمدرضا احمدی پور، ویراستار فنی بهروز نصیری،

ویراستار ادبی مرادچگینی، تهران: فرهنگ زبان، ۱۳۸۳.

ISBN - 964 - 8794 - 01 - 4

۱۸۳ ص: مصور، جدول، نمودار

فهرست‌نویسی بر اساس اطلاعات فیبا.

کتابنامه: ص. ۱۷۷ - ۱۸۳.

۱۰ رودپیچها، الف. جواهری، نصرالله، ب. احمدی پور، محمدرضا،

۱۳۲۷- ج. نصیری، بهروز، ویراستار، د. عنوان، ه. عنوان: پیچان‌رودها،

ع ۷/ ۱۲۰۵ GB ۵۵۱/۴۸۳

۴۲۴۱۱ - ۸۳ م

کتابخانه ملی ایران

#### اعضای شورای انتشارات دانشگاه لرستان:

دکتر احسان رشیدیان - معاون آموزشی

دکتر علی نظری - معاون پژوهشی

دکتر امیرحمزه حقی‌آبی - عضو شورا

دکتر امیر پازوکی - عضو شورا

دکتر مجید سام پور - عضو شورا

دکتر آرش خردمند - عضو شورا

مهندس حجت وحدتی - عضو شورا

مهندس محمد مهدی فرهپور - عضو شورا

مهندس مسعود طاهری‌نیا - مدیر امور پژوهشی، مهندس مصطفی جزایری - رئیس اداره انتشارات

نام کتاب: نظریه‌های ایجاد و تحول پیچان‌رودها

● مولفان: امیرحمزه حقی‌آبی، مهدی حبیبی، نصرالله جواهری، محمدرضا احمدی پور،

● ناشر: فرهنگ زبان

● چاپ اول: زمستان ۱۳۸۳

● تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

● چاپ: خرداد

● حروفچینی: موسسه سولماز (۶۴۹۵۴۰۶)

● قیمت: ۲۱۰۰ تومان

۴ - ۰۱ - ۸۷۹۴ - ۹۶۴ شابک

مرکز بخش: میدان انقلاب - خ شهدای زاندامری پلاک ۱۹۵ تلفن ۶۴۹۵۴۰۶

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| پیشگفتار.....                                                 | ۱۵ |
| فصل اول - فرآیندهای رودخانه‌ای.....                           | ۱۷ |
| ۱ - فرآیندهای رودخانه‌ای.....                                 | ۱۸ |
| ۱ - ۱ - فرسایش رودخانه‌ای.....                                | ۱۸ |
| ۲ - ۱ - حمل مواد رسوبی.....                                   | ۱۹ |
| ۳ - ۱ - فرآیند رسوبگذاری.....                                 | ۲۰ |
| فصل دوم - رودخانه‌های پیچانرود.....                           | ۲۳ |
| ۱ - ۲ - کلیات.....                                            | ۲۴ |
| ۲ - ۲ - رودخانه‌های پیچانرود.....                             | ۲۵ |
| ۲ - ۲ - ۱ - خصوصیات هندسی پیچانرودها.....                     | ۲۶ |
| ۲ - ۲ - ۲ - انواع مختلف رودخانه‌های پیچانرود.....             | ۲۹ |
| ۲ - ۲ - ۳ - روابط هیدرولیکی - هندسی پیچانرودها.....           | ۳۴ |
| ۲ - ۲ - ۴ - جریان آب در پیچانرودها.....                       | ۳۹ |
| ۲ - ۲ - ۵ - فرسایش و رسوبگذاری در پیچانرودها.....             | ۴۲ |
| ۲ - ۲ - ۶ - عوامل پیچانرودی شدن رودخانه.....                  | ۴۳ |
| ۲ - ۲ - ۷ - آشفته‌گی جریان و نقش آن در تغییر الگوی کانال..... | ۵۰ |
| ۲ - ۲ - ۷ - ۱ - فرآیندهای تلاطمی تخریبی.....                  | ۵۰ |
| ۲ - ۲ - ۷ - ۲ - رفتارهای متوالی در یک چرخه تلاطمی تخریبی..... | ۵۱ |
| ۲ - ۲ - ۷ - ۳ - پیچانرودی و جریانهای تلاطمی تخریبی انقی.....  | ۵۳ |
| ۲ - ۲ - ۸ - روند شکل‌گیری کانال رژیم.....                     | ۵۷ |
| ۲ - ۲ - ۸ - ۱ - روشهای اکسترمی (استدلالی).....                | ۵۷ |
| ۲ - ۲ - ۸ - ۲ - شیب رژیم و شیب دره.....                       | ۶۰ |
| ۲ - ۲ - ۱۰ - سینماتیک پیچانرود.....                           | ۶۹ |
| ۲ - ۲ - ۱۰ - ۱ - کلیات.....                                   | ۶۹ |

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ۲-۲-۱۰-۲- مهاجرت و توسعه پیچانرودها                                          | ۷۰  |
| ۲-۲-۱۱- روش تجزیه و تحلیل کلی پلانفرم                                        | ۷۳  |
| ۲-۲-۱۱-۱- فرسایش کناری و توسعه پیچانرود (مطالعه موردی)                       | ۷۴  |
| ۲-۲-۱۲- تغییرات پلان رودخانه و عوامل مؤثر بر آن                              | ۷۸  |
| ۲-۲-۱۲-۱- توزیع تنش برشی و ارتباط آن با شعاع انحنا نسبی                      | ۷۸  |
| ۲-۲-۱۲-۲- توجیه حالات مختلف حلقه پیچانرود با توزیع تنش برشی                  | ۸۱  |
| ۲-۲-۱۲-۳- روابط پیشنهادی جهت محاسبه تنش برشی بحرانی                          | ۸۲  |
| فصل سوم - مدل فیزیکی رودخانه‌های پیچانرود                                    | ۸۳  |
| ۳-۱- کلیاتی در رابطه با طراحی مدل‌های فیزیکی                                 | ۸۴  |
| ۳-۲- مدل‌های با بستر متحرک                                                   | ۸۷  |
| ۳-۳- تشابه رسوب                                                              | ۸۸  |
| ۳-۴- تشابه آستانه حرکت رسوب                                                  | ۸۹  |
| ۳-۵- پارامترهای مهم در مدل کردن پیچانرود                                     | ۹۲  |
| ۳-۶- معیارهای شبیه سازی در مدل‌های پیچانرودی                                 | ۹۳  |
| ۳-۷- مطالعات آزمایشگاهی انجام شده بر روی رودخانه‌های پیچانرود                | ۹۵  |
| فصل چهارم - مدل ریاضی رودخانه‌های پیچانرود                                   | ۱۰۳ |
| ۴-۱- تئوری فیزیکی و معادلات حاکم                                             | ۱۰۴ |
| ۴-۱-۱- مدل محاسبه پروفیل سطح آب                                              | ۱۰۵ |
| ۴-۱-۲- محاسبه توزیع جریانهای اصلی و ثانویه براساس پروفیل سطح آب و شرایط مرزی | ۱۰۸ |
| ۴-۱-۲-۱- توزیع سرعت‌های اصلی                                                 | ۱۰۹ |
| ۴-۱-۲-۲- شرایط مرزی برای تعیین توزیع سرعت‌های اصلی                           | ۱۱۰ |
| ۴-۱-۲-۳- توزیع جریانهای ثانویه                                               | ۱۱۱ |
| ۴-۱-۳- مدل محاسبه میزان فرسایش و رسوبگذاری در مقاطع                          | ۱۱۲ |

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| ۱-۴-۳-۱- تنشهای برشی                                                   | ۱۱۲ |
| ۱-۴-۳-۲- برآورد دبی رسوب کلی                                           | ۱۱۴ |
| ۱-۴-۳-۳- برآورد دبی رسوب در جهت عرضی                                   | ۱۱۷ |
| ۱-۴-۳-۴- مدل پیش بینی فرسایش کناری                                     | ۱۱۸ |
| ۱-۴-۳-۵- مدل پیش بینی تأثیر ریزش دیواره‌های کناری در سرعت فرسایش کناری | ۱۲۰ |
| ۱-۴-۳-۶- تعیین روابط نهایی پارامترهای فرسایش کناری                     | ۱۲۱ |
| ۱-۴-۴-۱- مدل پیش بینی تغییر شکل پلان                                   | ۱۲۲ |
| ۱-۴-۴-۱- تعیین ضرایب معادله تغییر فرم پلان                             | ۱۲۴ |
| ۱-۴-۴-۲- تصویر مسیر پلان رودخانه                                       | ۱۲۶ |
| ۱-۴-۲-۱- انفصال معادلات                                                | ۱۲۷ |
| ۱-۴-۲-۱- معادله ماندگار انتشار سرعت در جهت جریان                       | ۱۲۸ |
| ۱-۴-۲-۲- فرم کلی انفصال معادله سرعتهای ثانویه در مقاطع                 | ۱۳۰ |
| ۱-۴-۲-۳- معادله تغییر شکل پلان رودخانه                                 | ۱۳۱ |
| ۱-۴-۲-۳-۱- روش اختلاف بالادست                                          | ۱۳۲ |
| ۱-۴-۲-۳-۲- روش لکس                                                     | ۱۳۳ |
| ۱-۴-۲-۳-۳- روش پرش قورباغه‌ای                                          | ۱۳۳ |
| ۱-۴-۳- تهیه مدل، محدودیتهای تهیه و کاربرد، راهنمای مدل                 | ۱۳۴ |
| ۱-۴-۳-۱- مقدمه                                                         | ۱۳۴ |
| ۱-۴-۳-۲- مراحل محاسباتی در مدل                                         | ۱۳۴ |
| ۱-۴-۳-۳- زیر شاخه پلان مدل                                             | ۱۳۷ |
| ۱-۴-۳-۳-۱- معادلات پلان                                                | ۱۳۷ |
| ۱-۴-۳-۳-۲- محاسبه فاصله مقاطع                                          | ۱۳۷ |
| ۱-۴-۳-۳-۳- محاسبه شعاع انحنای نسبی                                     | ۱۳۷ |

|     |                                                                             |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------|
| ۱۳۸ | ۴-۳-۳-۴ - محاسبه مرکز انحناء                                                |
| ۱۴۰ | ۴-۳-۴ - زیر شاخه محاسبه پروفیل سطح آب                                       |
| ۱۴۰ | ۴-۳-۴-۱ - مشخصات هندسی مقاطع                                                |
| ۱۴۱ | ۴-۳-۵ - زیر شاخه های محاسبه انتشار سرعت در مقطع                             |
| ۱۴۱ | ۴-۳-۵-۱ - ضرایب معادله انتشار سرعت در مقاطع براساس شبکه پیشنهادی            |
| ۱۴۱ | ۴-۳-۵-۲ - اعمال شرایط مرزی در معادلات انتشار سرعت                           |
| ۱۴۱ | ۴-۳-۵-۳ - شبکه حل معادلات                                                   |
| ۱۴۳ | ۴-۳-۵-۴ - روشهای حل دستگاه معادلات                                          |
| ۱۴۳ | ۴-۳-۵-۴-۱ - روش نقطه به نقطه                                                |
| ۱۴۴ | ۴-۳-۵-۴-۲ - روش نقطه به نقطه با ضریب تسریع                                  |
| ۱۴۵ | ۴-۳-۵-۴-۳ - روش خط به خط                                                    |
| ۱۴۶ | ۴-۳-۵-۴-۴ - روش تغییرات متناوب جهت حل معادلات                               |
| ۱۴۷ | ۴-۳-۵-۴-۵ - معرفی زیر برنامه های اصلی                                       |
| ۱۵۰ | ۴-۳-۶ - محدودیتهای تهیه و کاربرد مدل                                        |
| ۱۵۱ | ۴-۳-۷ - راهنمای فایل ورودی مدل                                              |
| ۱۵۲ | ۴-۳-۸ - راهنمای استفاده از مدل                                              |
| ۱۵۹ | فصل پنجم - رودخانه های شریانی                                               |
| ۱۶۰ | ۵-۱ - منشاء شریانی شدن                                                      |
| ۱۶۱ | ۵-۲ - کمینه سازی اختلاف بین شیب دره و شیب رژیم                              |
| ۱۶۴ | ۵-۳ - توسعه شریانی شدن                                                      |
| ۱۶۴ | ۵-۳-۱ - شیب و شدت انتقال                                                    |
| ۱۶۹ | فصل ششم - آستانه بین الگوهای رودخانه ای مستقیم، پیچانرودی و شریانی          |
| ۱۷۰ | ۶-۱ - کلیات                                                                 |
| ۱۶۷ | ۶-۲ - نمودارها و روابط پیشنهاد شده برای تعیین آستانه بین الگوهای رودخانه ای |
| ۱۷۰ | رودخانه ای                                                                  |
| ۱۷۷ | کتابنامه                                                                    |

- شکل ۱-۱ - رابطه سرعت جریان آب و اندازه دانه‌ها با فرسایش و حمل و رسوبگذاری..... ۱۹
- شکل ۱-۲ - مقطع یک رودخانه و نحوه حرکت ذرات در آن..... ۲۰
- شکل ۲-۱ - مشخصات هندسی یک حلقه پیچانرود..... ۲۶
- شکل ۲-۲ - طبقه بندی رودخانه‌ها توسط برایش..... ۲۹
- شکل ۲-۳ - مثالی برای رودخانه‌های سینوسی کانالی شکل..... ۳۰
- شکل ۲-۴ - مثالی برای رودخانه‌های سینوسی رسوبگذار..... ۳۱
- شکل ۲-۵ - مثالی برای رودخانه‌های سینوسی شریانی..... ۳۲
- شکل ۲-۶ - مثالی برای رودخانه‌های شریانی غیر سینوسی..... ۳۲
- شکل ۲-۷ - طبقه بندی رودخانه بر اساس مورفولوژی، هیدرولوژی و خصوصیات بستر رسوبی..... ۳۳
- شکل ۲-۸ - نمودار بدست آمده توسط هی..... ۳۵
- شکل ۲-۹ - رابطه عدد فرود با  $\frac{\lambda}{\sqrt{A_s}}$ ..... ۳۶
- شکل ۲-۱۰ - رابطه بین دبی و طول موج پیچانرود..... ۳۷
- شکل ۲-۱۱ - مشخصات جریان در پیچ رودخانه..... ۴۰
- شکل ۲-۱۲ - جریان مارپیچی در پیچ رودخانه..... ۴۱
- شکل ۲-۱۳ - خط القعر و خط حداکثر سرعت جریان در پیچ رودخانه..... ۴۱
- شکل ۲-۱۴ - الگوی جریان در انحنای یک بستر آبرفتی..... ۴۲
- شکل ۲-۱۵ - وضعیت نیروی کوریولیس در روی کره زمین..... ۴۷
- شکل ۲-۱۶ - حلقه پیچانرودی در رودخانه سان جوان در یوتا..... ۴۸
- شکل ۲-۱۷ - حرکت موجی به عنوان مکانیسم پیچانرودی شدن..... ۴۸
- شکل ۲-۱۸ - مراحل توسعه یک حلقه پیچانرود..... ۴۹
- شکل ۲-۱۹ - توزیع مناطق پر سرعت و کم سرعت در یک جریان آشفته..... ۵۲
- شکل ۲-۲۰ - دیاگرامهای توزیع سرعت در یک موضع ثابت در جریان آشفته..... ۵۲

- شکل ۲ - ۲۱ - رابطه بین طول پیچانرودی و عرض جریان ..... ۵۳
- شکل ۲ - ۲۲ - طول نهشته‌های متناوب و طول جریانهای تلاطمی تخریبی افقی ..... ۵۳
- شکل ۲ - ۲۳ - تغییرات نسبت عرض به عمق جریان و نسبت عمق به قطر مشخصه
- ذرات در رودخانه‌های پیچانرودی و شریانی ..... ۵۴
- شکل ۲ - ۲۴ - مرز بندی نواحی مربوطه به نهشته‌های متناوب و پیچانرودها ..... ۵۵
- شکل ۲ - ۲۵ - برخورد چرخشهای تلاطمی با بستر و کناره‌های کانال ..... ۵۵
- شکل ۲ - ۲۶ - شروع پیچانرودی بوسیله نهشته‌های متناوب ..... ۵۶
- شکل ۲ - ۲۷ - روند ایجاد کانال رژیم ..... ۶۲
- شکل ۲ - ۲۸ - ایجاد شیب رژیم با کف کنی و پیچانرود شدن ..... ۶۳
- شکل ۲ - ۲۹ - رابطه بین شیب پیچانرودها و شیب رژیم آنها ..... ۶۴
- شکل ۲ - ۳۰ - رابطه بین شیب، ضریب خمیدگی و اندازه نسبی ذرات رودخانه ..... ۶۴
- شکل ۲ - ۳۱ - ردیابی توسعه پیچانرودی ..... ۶۶
- شکل ۲ - ۳۲ - افزایش ضریب خمیدگی و تماس حلقه‌های پیچانرودی مجاور با یکدیگر ..... ۶۷
- شکل ۲ - ۳۳ - یکصد و ده مایل از رودخانه می‌سی‌سی‌پی در آمریکا ..... ۶۸
- شکل ۲ - ۳۴ - طرح شماتیک شروع حرکت یک متحرک و ادامه حرکت آن ..... ۶۸
- شکل ۲ - ۳۵ - دیاگرام توزیع شدت بارکناری و شدت بارکف ..... ۶۹
- شکل ۲ - ۳۶ - طرح شماتیک وضعیت خطوط جریان در حلقه‌های پیچانرود با خمیدگی‌های متفاوت ..... ۷۱
- شکل ۲ - ۳۷ - تغییرات سرعت مهاجرت و سرعت انبساط حلقه‌های پیچانرودی به ازای تغییرات زاویه انحراف مسیر جریان از جهت کلی جریان ..... ۷۲
- شکل ۲ - ۳۸ - حالات مختلف توسعه حلقه پیچانرود ..... ۷۲
- شکل ۲ - ۳۹ - حالات معمول فرسایش ساحل رودخانه و میانبری در حلقه‌های پیچانرود ..... ۷۴



- شکل ۲ - ۴۰ - خطوط ساحلی رودخانه در سالهای متوالی ..... ۷۴
- شکل ۲ - ۴۱ - ارتباط میان نرخ فرسایش ساحل با مساحت حوزه زهکش ..... ۷۷
- شکل ۲ - ۴۲ - توزیع فراوانی اندیسه‌های فرسایش بر حسب نوع رودخانه ..... ۷۸
- شکل ۲ - ۴۳ - شمایی کلی از خمیدگی یک رودخانه ..... ۷۹
- شکل ۲ - ۴۴ - چهار الگوی مختلف تنش برشی ..... ۸۰
- شکل ۳ - ۱ - منحنی شیلدز ..... ۹۰
- شکل ۳ - ۲ - آزمایش بررسی اثر شیب در پیچانرود شدن ..... ۹۵
- شکل ۳ - ۳ - تغییرات مدل رودخانه طی زمانهای مختلف ..... ۹۶
- شکل ۳ - ۴ - نحوه قرارگیری نهشته‌های ماسه‌ای در رودخانه‌ها ..... ۹۶
- شکل ۳ - ۵ - مدل فیزیکی رودخانه آرکانزاس ..... ۹۷
- شکل ۳ - ۶ - مشاهدات آزمایش مدل کینوشیتا بر روی رودخانه‌ای شی کاری ..... ۹۸
- شکل ۳ - ۷ - نحوه ورود جریان یک سیل در یک کانال پیچانرودی ..... ۹۸
- شکل ۳ - ۸ - پلان مدل کانالهای احداث شده جهت آزمایش اروین و همکاران ..... ۱۰۰
- شکل ۳ - ۹ - نحوه پیچانرودی شدن در آزمایشات انجام شده در لوین و تورینو ..... ۱۰۱
- شکل ۳ - ۱۰ - مقادیر بی بعد بدست آمده از آزمایشات انجام شده در لوین و تورینو ..... ۱۰۱
- شکل ۴ - ۱ - اجزاء تشکیل دهنده معادله انرژی برای جریان یکنواخت در یک کانال طبیعی ..... ۱۰۶
- شکل ۴ - ۲ - نمایش تغییرات شکل مقطع در اثر فرسایش کناری ..... ۱۱۹
- شکل ۴ - ۳ - وضعیت قرارگیری توده ریزشی ..... ۱۲۰
- شکل ۴ - ۴ - نمایش محاسبه مقدار  $h_{bank}$  و  $A_s$  با تغییر  $h$  ..... ۱۲۲
- شکل ۴ - ۵ - نمایش مشخصه‌های انواع مدل‌های موج ..... ۱۲۳
- شکل ۴ - ۶ - تصویر پلان رودخانه بر محور حل معادله دیفرانسیل موج ..... ۱۲۷
- شکل ۴ - ۷ - نمایش سطح کنترل برای انفصال معادله مومنتم دویعدی جریان ثانویه ..... ۱۲۸
- شکل ۴ - ۸ - فرم انفصال معادلات در روش اختلاف بالادست ..... ۱۳۲

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| شکل ۴-۹ - فرم انفصال معادلات در روش پیرش قویاغهای         | ۱۳۳ |
| شکل ۴-۱۰ - مراحل محاسبات فرسایش کناری در مدل RMM          | ۱۳۶ |
| شکل ۴-۱۱ - نمایش محدود نیل گیر و محاسبه مختصات آن در پلان | ۱۳۹ |
| شکل ۴-۱۲ - محاسبه مشخصات هندسی مقطع عرضی                  | ۱۴۰ |
| شکل ۴-۱۳ - روشهای مختلف انتخاب شبکه حل                    | ۱۴۳ |
| شکل ۴-۱۴ - روش PBP                                        | ۱۴۴ |
| شکل ۴-۱۵ - روش LBL                                        | ۱۴۵ |
| شکل ۴-۱۶ - روش ADI                                        | ۱۴۶ |
| شکل ۴-۱۷ - فلوچارت کلی زیر برنامه محاسبات توزیع سرعت      | ۱۴۸ |
| شکل ۴-۱۸ - فلوچارت سابروتین P.B.P                         | ۱۴۹ |
| شکل ۴-۱۹ - فلوچارت سابروتین L.B.L                         | ۱۴۹ |
| شکل ۴-۲۰ - فلوچارت سابروتین A.D.I                         | ۱۵۰ |
| شکل ۴-۲۱ - نحوه تهیه فایل ورودی مدل RMM                   | ۱۵۲ |
| شکل ۴-۲۲ - نمایش منوی اصلی مدل RMM                        | ۱۵۴ |
| شکل ۴-۲۳ - نمایش منوی فرعی FILE                           | ۱۵۴ |
| شکل ۴-۲۴ - نمایش منوی RUN                                 | ۱۵۶ |
| شکل ۴-۲۵ - نمایش منوی VIEW                                | ۱۵۶ |
| شکل ۴-۲۶ - نمایش منوی روشهای حل دستگاه معادلات            | ۱۵۸ |
| شکل ۵-۱ - مرزبندی نواحی پیچانوودی و شریانی و خطوط هم شیب  | ۱۶۱ |
| شکل ۵-۲ - شریانی شدن رودخانه بر اثر افزایش شیب آن         | ۱۶۲ |
| شکل ۵-۳ - شریانی شدن رودخانه دجله با افزایش شیب آن        | ۱۶۳ |
| شکل ۵-۴ - طرح شماتیک افزایش شیب و شریانی شدن رودخانه      | ۱۶۳ |
| شکل ۵-۵ - ردیابی تقسیم شدن کانال، در رودخانههای شریانی    | ۱۶۶ |
| شکل ۶-۱ - دیاگرام طبقه بندی پلانفرم رودخانه               | ۱۷۲ |
| شکل ۶-۲ - دیاگرام طبقه بندی پلانفرم رودخانه               | ۱۷۲ |
| شکل ۶-۳ - دیاگرام طبقه بندی پلانفرم رودخانه               | ۱۷۳ |
| شکل ۶-۴ - الگوهای سه گانه کانال رودخانهها                 | ۱۷۵ |

|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| جدول ۱-۲ - تعیین میزان توسعه پیچانروی به کمک زاویه مرکزی .....                                          | ۲۹  |
| جدول ۲-۲ - طبقه بندی شوم در کانالهای رسوبی .....                                                        | ۳۴  |
| جدول ۲-۳ - خلاصه تعدادی از روابط هندسی پیچانرود .....                                                   | ۳۸  |
| جدول ۲-۴ - کمیت $\Delta^*$ از نظر محققین مختلف .....                                                    | ۵۸  |
| جدول ۲-۵ - نرخهای متوسط فرسایش ساحلی برای رودخانه‌های با اندازه و تیپ مختلف .....                       | ۷۶  |
| جدول ۴-۱ - متغیرهای مختلف مورد استفاده در روشهای مختلف برآورد باررسوب .....                             | ۱۱۵ |
| جدول ۶-۱ - شیب، شدت جریان و اندازه ذرات بستر در ارتباط با الگوی کانال .....                             | ۱۷۴ |
| جدول ۶-۲ - شیب، شدت جریان، پارامتر شیلدز و توان رودخانه‌ای واحد بدون بعد در ارتباط با الگوی کانال ..... | ۱۷۵ |

|                          |                                           |                                                                |
|--------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| A                        | دامنه نوسانات حلقه‌های پیچانرودی          | شعاع حلقه‌های پیچانرود؛ مقدار یک کمیت را در                    |
| $A_0$                    | خاصیتی از رودخانه که کمینه می‌شود         | حالت رژیم مشخص می‌کند.                                         |
| B                        | عرض جریان در سطح آزاد                     | $R_e = \frac{Vh}{\nu}$ عدد رینولدز جریان                       |
| $C = \frac{V}{V_*}$      | ضریب اصطکاک بدون بعد شزی                  | جهت شعاعی                                                      |
| D                        | اندازه تیپک ذره (معمولاً $D_0$ )          | به ترتیب نواحی پیچانرودی و شریانی را در صفحه                   |
| E (t = T در e)           | جریان چرخشی ماکروتوربولنت                 | $R_m, R_b$ $(\frac{B}{h} \text{ و } \frac{h}{D})$ مشخص می‌کنند |
| e                        | جریان چرخشی تلاطمی                        | S شیب                                                          |
| $F_f = \frac{V\tau}{gh}$ | عدد فرود                                  | s جهت جریان                                                    |
| g                        | شتاب جاذبه زمین                           | $S_v$ شیب دره                                                  |
| h                        | عمق جریان                                 |                                                                |
| K                        | تعداد انشعابات متوالی یک رودخانه شریانی   | T پیرو جریان تلاطمی تخریبی                                     |
|                          | طول جریان تلاطمی تخریبی؛ طول موج مسیر     | t زمان                                                         |
| L                        | جریان                                     | $U_i$ سرعت لحظه‌ای جریان موضعی در امتداد i                     |
|                          | اندازه (قطر) چرخش تلاطمی؛ امتداد منطبق بر | $(i = x, y, z)$                                                |
| I $l = 0$                | خط مرکزی پلان کانال (در نقطه عطف          | USP توان رودخانه‌ای واحد                                       |
| $l_m$                    | طول پیچانرود (در امتداد l)                | $U_i$ مؤلفه نوسانی $U_i$                                       |
| N                        | تعداد ردیفهای تلاطمی تخریبی               | $u_i$ مؤلفه متوسط زمانی $U_i$                                  |
| n                        | جهت عمود بر راستای جریان                  | V سرعت متوسط جریان                                             |
| P                        | توان رودخانه‌ای واحد بدون بعد             | $V_* = \frac{\tau_0}{\sqrt{\rho}}$ سرعت برشی                   |
| Q                        | شدت جریان                                 | X جهت کلی جریان (در یک کانال سینوسی)                           |
|                          | شدت حجمی انتقال رسوب (از میان کل سطح      | عدد تحرک                                                       |
| $Q_s$                    | مقطع جریان)                               | $Y = \frac{\rho V_*^2}{\gamma_s D}$                            |
|                          | شدت جریان در واحد عرض (شدت جریان          | مقدار مقدار متوسط کمیت را مشخص                                 |
| q                        | (مخصوص)                                   | av می‌کند.                                                     |

# علائم

|                                             |                                  |                                              |                                         |
|---------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|
| مشخص کننده مقدار متناظر با شروع انتقال رسوب | Cr                               | منحنی الخط (t)                               | زاویه انحراف خطوط جریان از توازی        |
| (مرحله بحرانی) می باشد.                     |                                  |                                              |                                         |
| جرم مخصوص آب                                | $\rho$                           | قدرت نسبی جریان                              | $\eta = \frac{Y}{Y_{ct}}$               |
| جرم مخصوص ذره                               | $\rho_s$                         | ضخامت چرخش تلاطمی آزاد                       |                                         |
| وزن مخصوص آب                                | $\gamma = \rho g$                | (بدون تماس با بستر)                          | $\varepsilon$                           |
| تنش برشی                                    | $\tau$                           | عدد رینولدز ذره                              | $R_{*e}$                                |
| تنش برشی بین جریان و مرزهای جامد            | $\tau_0$                         | پارامتر شیلدز؛ زاویه کج شدگی مسیر جریان نسبت |                                         |
| طول "فرم بستر" توسعه یافته                  | $\Lambda$                        | به جهت کلی جریان در یک کانال سینوسی          | $\theta$                                |
| ارتفاع "فرم بستر" توسعه یافته               | $\Delta$                         | فاکتور مقیاس به صورت نسبت مقدار یک کمیت      |                                         |
| شیب "فرم بستر" توسعه یافته                  | $\delta$                         | در طبیعت، به مقدار آن در مدل                 | $\alpha$                                |
| طول موج پیچانرود.                           | $\Lambda_m$                      | فاکتور دانسیته نسبی                          | $\Delta = \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho}$ |
| دامنه نوسانات پیچانرود                      | $\Delta_m$                       | پارامتر انیشتین                              | $\Phi$                                  |
| مقدار $\theta$ در $L = 0$                   | $\theta$                         | لزجت سینماتیکی آب                            | $\nu$                                   |
| ضریب خمیدگی                                 | $\frac{L_m}{\Lambda_m} = \sigma$ | طول موج پیچانرود                             | $\lambda$                               |

## بسم ... الرحمن الرحيم

### پیش گفتار

بررسی مسائل مربوط به پیچانرودها نیاز به تجربه، دانش و دقت خاصی دارد. تعداد بسیاری از رودخانه‌های ایران از جمله قزل اوزن، کوخه، اترک، ارس و... که دارای تشکیلات به شدت فرسایش پذیر می‌باشند، پیچانرود به شمار می‌روند. تحقیق و مطالعات جامع از دیدگاه مهندسی هیدرولیک و زمین‌شناسی جهت شناخت و تفسیر صحیح پدیده پیچانرودی و روند رسوبگذاری و فرسایش در آن می‌تواند در ساماندهی رودخانه‌ها و در طرح‌های عمرانی دشتهای آبرفتی حاشیه آنها (تثبيت، حفاظت، عمران و ایجاد اراضی حواشی رودخانه و حفاظت از جاده‌ها و پلهای مسیر رودخانه) و در مطالعات رسوبگذاری در مخزن سدهای پایین دست مورد استفاده قرار می‌گیرد.

گرچه در بسیاری از نقاط دنیا بررسیهای متعددی در مورد پدیده پیچانرودی صورت گرفته و تا حدودی عوامل وقوع و گسترش آن شناخته شده است، ولی با توجه به تفاوت ویژگیهای زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، مورفولوژی، هیدرولوژیکی، پوشش گیاهی و اقلیمی که در حوضه‌ها و رودخانه‌های مختلف وجود دارد، عامل یا عوامل اصلی بوجود آورنده و تشدید کننده این پدیده در رودخانه‌های مختلف، متفاوت است. از اینرو لازم است برای هر رودخانه، مطالعات خاصی انجام گرفته و میزان تأثیر عوامل مختلف در ایجاد و تحول بازه‌های پیچانرودی آن شناسایی گردد. انجام عملیات مهندسی برای کنترل فرسایش کناری، اصلاح مسیر، کنترل سیلاب و احداث هرگونه سازه در مسیر رودخانه، نیاز به شناخت عوامل مؤثر بر تغییرات مورفولوژی رودخانه و رفتار آن طی زمان دارد.

کتابی که پیش رو دارید حاصل چند ساله مطالعه و تحقیق مؤلفان بر روی پیچانرودها

می‌باشد. و شامل شش فصل می‌باشد، در فصل اول به اختصار در مورد فرایندهای رودخانه‌ای شامل فرسایش، حمل و رسوبگذاری بحث شده است. در فصل دوم انواع مختلف پیچانرودها، نحوه شکل‌گیری و تحول آنها، شرایط پیچانرودی شدن، روابط هیدرولیکی و هندسی پیچانرودها و مطالعات آزمایشگاهی انجام شده بر روی این رودخانه‌ها در فصل سوم ارائه شده است. فصل چهارم به موضوع مدلسازی ریاضی پیچانرودها و معرفی یک مدل تهیه شده برای پیش بینی تغییر شکل آنها می‌پردازد. در فصل پنجم رودخانه‌های شریانی مورد بحث قرار گرفته‌اند و سرانجام در فصل ششم آستانه بین الگوهای رودخانه‌ای مستقیم، پیچانرود و شریانی بحث شده است و نمودارها و روابطی برای تعیین آستانه ایجاد الگوهای رودخانه‌ای پیشنهاد شده است.

اکنون که به یاری خداوند متن اولیه کتاب حاضر تحت عنوان «نظریه‌های ایجاد و تحول پیچانرودها» به پایان رسیده است، مؤلفین بر خود فرض می‌دانند از تمام کسانی که مستقیم یا غیر مستقیم در تهیه این کتاب همکاری و نقش داشته‌اند تشکر نمایند. از آقای مهندس حمیدرضا پیرستانی که در زمینه بررسی‌های آزمایشگاهی پیچانرودها نقش مهمی در تهیه این اثر داشته‌اند، تشکر می‌نماییم. از خدمات علمی آقایان مهندس حمیدرضا پیروان و مهندس مسعود ساجدی سابق کارشناسان ارشد بخش مهندسی رودخانه مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری سپاسگزاری می‌نماییم.

همچنین لازم می‌دانیم مراتب تشکر خود را از ریاست محترم دانشگاه لرستان، جناب آقای دکتر خسرو عزیزی و معاونت محترم پژوهشی جناب آقای دکتر علی نظری و شورای پژوهشی دانشگاه و جناب آقای دکتر بهروز نصیری ویراستار علمی و جناب آقای دکتر مراد چگنی ویراستار ادبی کتاب که با حمایتها و راهنماییهای خالصانه خود، امکانات انجام این خدمت را فراهم نمودند، اظهار نمائیم.

مؤلفین

زمستان ۱۳۸۳