



دانشگاه پیام نور

# هیدرولیک کانال‌های روباز

(رشته مهندسی عمران)

www.ketab.ir

دکتر حمیدرضا شیبانی

|                      |   |                                                 |
|----------------------|---|-------------------------------------------------|
| سرشناسه              | : | شیبانی، حمیدرضا، ۱۳۴۴-                          |
| عنوان و نام پدید آور | : | هیدرولیک کانال های روباز/ حمیدرضا شیبانی.       |
| مشخصات نشر           | : | تهران: دانشگاه پیام نور، ۱۳۹۶.                  |
| مشخصات ظاهری         | : | ۲۸۱ ص.                                          |
| فروست                | : | دانشگاه پیام نور؛ ۲۴۰۳. گروه مهندسی عمران؛ ۱/۶. |
| شابک                 | : | 978 - 964 - 14 - 0450 - 7                       |
| وضعیت فهرست نویسی    | : | فیبا                                            |
| موضوع                | : | هیدرولیک                                        |
| موضوع                | : | Hydraulics                                      |
| موضوع                | : | آبراه ها                                        |
| موضوع                | : | Channels(Hydraulic engineering)                 |
| شناسه اف رده         | : | دانشگاه پیام نور                                |
| شناسه افزوده         | : | Payam Noor University                           |
| رده بندی کنتره       | : | ۱۳۹۶ ۹۹۹۹۹/ش TC۱۷۵                              |
| رده بندی دیویی       | : | ۶۲۷/۲۳                                          |
| شماره کتابشناسی ملی  | : | ۴۹۶۹۲۰۴                                         |



دانشگاه پیام نور

## هیدرولیک کانال های روباز

مؤلف: دکتر حمیدرضا شیبانی

ویراستار علمی: دکتر الهام رجبی

تهیه و تولید: دفتر تدوین و تولید کتب و محتوای آموزشی

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز چاپ و توزیع دانشگاه پیام نور

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

نوبت و تاریخ چاپ: چاپ اول بهمن ۱۳۹۶

شابک: ۷ - ۰۴۵۰ - ۱۴ - ۹۶۴ - ۹۷۸

ISBN: 978 - 964 - 14 - 0450 - 7

فروش این کتاب فقط از طریق نمایندگی های دانشگاه پیام نور مجاز می باشد و فروش

آن در سایر مراکز فروش کتاب موجب تعقیب قانونی فروشنده خواهد گردید.

( کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر محفوظ و متعلق به دانشگاه پیام نور است. تولید، کپی یا خلاصه برداری، نشر و ترجمه، چاپ، افست، توزیع گسترده، تهیه CD و ... این اثر یا بخشی از آن اعم از متن، طرح پشت و روی جلد و ... بدون اخذ مجوز کتبی از معاونت فناوری و پژوهش دانشگاه خلاف مقررات و تعرض به حقوق مادی و معنوی دانشگاه است. متخلفین وفق قانون حمایت از مولفان و مصنفان و هنرمندان دارای مسئولیت حقوقی و کیفری بوده و تحت پیگرد قرار می گیرند.)

قیمت: ۲۸۰۰۰۰ ریال

## فهرست مطالب

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| پیشگفتار .....                                          | ۵  |
| فصل اول. تعریف‌ها و مفاهیم اولیه .....                  |    |
| ۱- هدف کلی .....                                        | ۱  |
| ۱- هدف‌های یادگیری .....                                | ۱  |
| ۱- مقدمه .....                                          | ۱  |
| ۱-۱- جریان با سطح آزاد و جریان تحت فشار .....           | ۲  |
| ۲-۱- طبقه‌بندی کانال‌ها .....                           | ۳  |
| ۳-۱- طبقه‌بندی کانال‌های مصنوعی .....                   | ۴  |
| ۱-۳-۱- طبقه‌بندی کانال‌های مصنوعی براساس شکل مقطع ..... | ۴  |
| ۲-۳-۱- طبقه‌بندی کانال‌های مصنوعی براساس کاربرد .....   | ۵  |
| ۴-۱- مشخصات هندسی و هیدرولیکی مقطع کانال روباز .....    | ۵  |
| ۵-۱- اعداد بدون بعد، فرود و رینولدز .....               | ۸  |
| ۱-۵-۱- عدد فرود .....                                   | ۸  |
| ۲-۵-۱- عدد رینولدز .....                                | ۸  |
| ۶-۱- طبقه‌بندی جریان در کانال‌های روباز .....           | ۹  |
| ۱-۶-۱- تغییر پارامترهای هیدرولیکی برحسب زمان .....      | ۹  |
| ۲-۶-۱- تغییر پارامترهای هیدرولیکی برحسب مکان .....      | ۹  |
| ۳-۶-۱- نیروهای غالب بر جریان .....                      | ۱۱ |
| ۷-۱- معادلات اساسی حاکم بر جریان سیال .....             | ۱۳ |
| ۱-۷-۱- اصل بقای جرم و معادله پیوستگی .....              | ۱۳ |
| ۲-۷-۱- اصل بقای انرژی و معادله انرژی .....              | ۱۴ |

|         |                                                         |
|---------|---------------------------------------------------------|
| ۱۶..... | ۳-۷-۱ اصل بقای اندازه حرکت و معادله اندازه حرکت         |
| ۱۹..... | ۸-۱ دبی و توزیع سرعت در کانال های روباز                 |
| ۲۱..... | ۹-۱ ضرایب تصحیح سرعت در رابطه انرژی و رابطه اندازه حرکت |
| ۲۴..... | ۱۰-۱ توزیع فشار سیال در کانال های روباز                 |
| ۲۴..... | ۱-۱۰-۱ توزیع فشار برای جریان یکنواخت در کانال           |
| ۲۵..... | ۲-۱۰-۱ توزیع فشار در قوس کانال                          |
| ۲۹..... | خودآزمایی فصل اول                                       |

## فصل دوم. انرژی در کانال های روباز

|         |                                                          |
|---------|----------------------------------------------------------|
| ۳۱..... | هدف کلی                                                  |
| ۳۱..... | هدف های یادگیری                                          |
| ۳۱..... | مقدمه                                                    |
| ۳۲..... | ۱-۲ معادله انرژی در کانال های روباز                      |
| ۳۳..... | ۱-۱-۲ خط شیب انرژی و خط شیب هیدروسیک در کانال های روباز  |
| ۳۵..... | ۲-۲ جریان بحرانی                                         |
| ۳۶..... | ۱-۲-۲ محاسبه عمق بحرانی                                  |
| ۴۱..... | ۳-۲ انرژی مخصوص                                          |
| ۴۲..... | ۱-۳-۲ منحنی انرژی مخصوص                                  |
| ۴۳..... | ۲-۳-۲ حداقل انرژی مخصوص نسبت به عمق                      |
| ۴۸..... | ۴-۲ منحنی دبی جریان بر حسب عمق، به ازای انرژی مخصوص ثابت |
| ۵۱..... | ۵-۲ کاربرد انرژی مخصوص در کانال های روباز                |
| ۵۱..... | ۱-۵-۲ انرژی مخصوص و تغییر تراز کف کانال                  |
| ۶۰..... | ۲-۵-۲ انرژی مخصوص و تغییر موضعی در عرض کانال             |
| ۶۶..... | ۶-۲ انسداد جریان در کانال های روباز                      |
| ۶۶..... | ۱-۶-۲ برآمدگی موضعی در کف و پدیده انسداد                 |
| ۶۸..... | ۲-۶-۲ کاهش موضعی عرض کانال و پدیده انسداد                |
| ۷۱..... | ۳-۶-۲ حل مسایل بالآمدگی موضعی در کف کانال                |
| ۷۳..... | ۴-۶-۲ حل مسایل تنگ شدگی موضعی در عرض کانال               |
| ۷۵..... | ۵-۶-۲ طول محدوده انسداد                                  |
| ۸۶..... | خودآزمایی فصل دوم                                        |

## فصل سوم. اندازه حرکت در کانال های روباز

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| هدف کلی                                       | ۸۹  |
| هدف های یادگیری                               | ۸۹  |
| مقدمه                                         | ۸۹  |
| ۱-۳ اندازه حرکت در کانال روباز                | ۹۰  |
| ۲-۳ نیروی مخصوص                               | ۹۲  |
| ۳-۳ منحنی دبی - عمق، به ازای نیروی مخصوص ثابت | ۹۸  |
| ۴-۳ پرش هیدرولیکی در آبراهه روباز             | ۱۰۱ |
| ۱-۴-۳ عمق های اولیه و ثانویه پرش هیدرولیکی    | ۱۰۱ |
| ۲-۴-۳ طول پرش هیدرولیکی                       | ۱۱۱ |
| ۳-۴-۳ افت انرژی در پرش هیدرولیکی              | ۱۱۳ |
| ۵-۳ پرش های هیدرولیکی زاده مستغرق             | ۱۱۸ |
| ۶-۳ وقوع پرش هیدرولیکی به سبب از دست دادن     | ۱۲۵ |
| خودآزمایی فصل سوم                             | ۱۲۹ |

## فصل چهارم. جریان یکنواخت

|                                                 |     |
|-------------------------------------------------|-----|
| هدف کلی                                         | ۱۳۳ |
| هدف های یادگیری                                 | ۱۳۳ |
| مقدمه                                           | ۱۳۳ |
| ۱-۴ شکل گیری جریان یکنواخت                      | ۱۳۴ |
| ۲-۴ تنش برشی متوسط در کف و جداره کانال          | ۱۳۵ |
| ۳-۴ روابط جریان یکنواخت                         | ۱۳۶ |
| ۱-۳-۴ رابطه شزی                                 | ۱۳۶ |
| ۲-۳-۴ ضریب شزی                                  | ۱۳۷ |
| ۳-۳-۴ رابطه مانینگ                              | ۱۴۰ |
| ۴-۴ حل مسائل جریان های یکنواخت                  | ۱۴۰ |
| ۱-۴-۴ جریان یکنواخت با عمق معلوم                | ۱۴۱ |
| ۲-۴-۴ جریان یکنواخت با عمق مجهول                | ۱۴۳ |
| ۵-۴ تعیین ضریب زبری مانینگ                      | ۱۵۱ |
| ۱-۵-۴ ضریب زبری در کانال با بستر دانه ای        | ۱۵۳ |
| ۲-۵-۴ ضریب زبری در کانال با بستری از پوشش گیاهی | ۱۵۵ |

|     |                                   |
|-----|-----------------------------------|
| ۱۵۷ | ۳-۵-۴ ضریب زبری در کانال‌های مرکب |
| ۱۶۵ | ۶-۴ طراحی کانال‌های فرسایش ناپذیر |
| ۱۶۵ | ۱-۶-۴ جنس پوشش کانال              |
| ۱۶۵ | ۲-۶-۴ سرعت جریان در کانال         |
| ۱۶۶ | ۳-۶-۴ شیب طولی و شیب جداره کانال  |
| ۱۶۶ | ۴-۶-۴ ارتفاع آزاد کانال           |
| ۱۶۷ | ۵-۶-۴ ابعاد کانال                 |
| ۱۷۱ | خودآزمایی فصل چهارم               |

### فصل پنجم. تئوری جریان متغیر تدریجی

|     |                                                              |
|-----|--------------------------------------------------------------|
| ۱۷۳ | هدف کلی                                                      |
| ۱۷۳ | هدف‌های یادگیری                                              |
| ۱۷۳ | مقدمه                                                        |
| ۱۷۴ | ۱-۵ معادله دینامیکی جریان متغیر تدریجی                       |
| ۱۷۵ | ۲-۵ طبقه‌بندی شیب کانال‌ها                                   |
| ۱۷۶ | ۳-۵ طبقه‌بندی پروفیل‌های سطح آب در جریان متغیر تدریجی        |
| ۱۷۷ | ۱-۳-۵ پروفیل‌های شیب ملایم، M                                |
| ۱۸۲ | ۲-۳-۵ پروفیل‌های شیب تند، S                                  |
| ۱۸۶ | ۳-۳-۵ پروفیل‌های شیب بحرانی، C                               |
| ۱۸۷ | ۴-۳-۵ پروفیل‌های شیب افقی، H                                 |
| ۱۸۸ | ۵-۳-۵ پروفیل‌های شیب معکوس، A                                |
| ۱۸۸ | ۴-۵ پروفیل جریان متغیر تدریجی در محل تغییر شیب کانال         |
| ۱۸۹ | ۱-۴-۵ تأثیر شرایط جریان بر جانمایی پروفیل جریان متغیر تدریجی |
| ۱۹۰ | ۲-۴-۵ راهنما برای ترسیم پروفیل در محل تغییر شیب کانال        |
| ۱۹۱ | ۳-۴-۵ پروفیل در اتصال کانال ملایم‌تر به ملایم                |
| ۱۹۲ | ۴-۴-۵ پروفیل در اتصال کانال ملایم به ملایم‌تر                |
| ۱۹۲ | ۵-۴-۵ پروفیل در اتصال کانال تندتر به تند                     |
| ۱۹۳ | ۶-۴-۵ پروفیل در اتصال کانال تند به تندتر                     |
| ۱۹۳ | ۷-۴-۵ پروفیل در اتصال کانال ملایم به تند                     |
| ۱۹۴ | ۸-۴-۵ پروفیل در اتصال کانال تند به ملایم                     |
| ۱۹۷ | ۹-۴-۵ نمونه‌های دیگری از اتصال کانال‌ها با شیب‌های مختلف     |
| ۲۰۸ | خودآزمایی فصل پنجم                                           |

## فصل ششم. جانمایی نیم‌رخ جریان متغیر تدریجی

|     |                                                         |
|-----|---------------------------------------------------------|
| ۲۱۱ | هدف کلی                                                 |
| ۲۱۱ | هدف‌های یادگیری                                         |
| ۲۱۱ | مقدمه                                                   |
| ۲۱۲ | ۱-۶ جانمایی پروفیل جریان متغیر تدریجی                   |
| ۲۱۴ | ۱-۱-۶ روش گام‌به‌گام مستقیم                             |
| ۲۲۰ | ۲-۱-۶ روش اولر و اولر اصلاح شده                         |
| ۲۲۴ | ۳-۱-۶ روش گام‌به‌گام استاندارد                          |
| ۲۳۱ | ۲-۶ مثال‌های کاربردی از تعیین پروفیل جریان متغیر تدریجی |
| ۲۳۱ | ۱-۲-۶ تعیین محل وقوع پرش هیدرولیکی                      |
| ۲۳۴ | ۲-۲-۶ انسداد یا پس‌زدگی جریان                           |
| ۲۴۱ | ۳-۲-۶ اتصال کانال و مخزن                                |
| ۲۵۹ | خودآزمایی فصل ششم                                       |

## فصل هفتم. توزیع سرعت در کانال روباز

|     |                                                    |
|-----|----------------------------------------------------|
| ۲۶۱ | هدف کلی                                            |
| ۲۶۱ | هدف‌های یادگیری                                    |
| ۲۶۱ | مقدمه                                              |
| ۲۶۲ | ۱-۷ توزیع سرعت بر روی بستر کانال نفوذناپذیر        |
| ۲۶۳ | ۱-۱-۷ توزیع سرعت در ناحیه زیرلایه ورقه‌ای در کانال |
| ۲۶۳ | ۲-۱-۷ توزیع سرعت در ناحیه بالای زیرلایه ورقه‌ای    |
| ۲۶۴ | ۲-۷ توزیع سرعت بر روی سطوح نفوذپذیر در کانال       |
| ۲۶۷ | ۱-۲-۷ تنش برشی بر روی بستر نفوذپذیر                |
| ۲۶۹ | ۳-۷ بررسی ضریب زبری مانینگ                         |
| ۲۷۳ | خودآزمایی فصل هفتم                                 |
| ۲۷۵ | واژه‌نامه فارسی به انگلیسی                         |
| ۲۷۸ | واژه‌نامه انگلیسی به فارسی                         |
| ۲۸۱ | مراجع                                              |

## تقدیم به مادرم، به امیدم

### پیشگفتار

کتاب حاضر حاوی مطالب مورد نیاز برای مهندسين در گرايش‌های مختلف دپارتمان عمران و نیز بعضی از گرايش‌های دپارتمان کشاورزی می‌باشد. در تهیه این جلد سعی شده است تا نگارش متن به صورت ساده و روان باشد نیز توضیح مناسب و کامل برای درک بهتر خواننده آورده شود. مثال‌های کتاب با هدف روشن ساختن بیشتر مفاهیم و نیز آشنایی با حل مسایل هیدرولیکی قید گردیده‌اند. ترسیم منحنی‌های کتاب، همگی با استفاده از حل معادله‌های حاکم انجام شده‌اند و از درج نسخه اسکن شده آنها از مراجع مرتبط، خودداری گردیده است تا ضمن حصول منحنی‌های واضح، کارایی استفاده از آنها متناسب با حل مسایل فزونی یابد. همچنین دقت کافی در ترسیم شکل‌های کتاب به کار برده شده است تا آنها ارائه مناسب را دارا باشند.

در تهیه این جلد، از همکاری مهندسین الناز پورمحمودنژاد، مونا آریا، ندا اسکندری منجیلی، خدیجه میرزایی، شهرزاد دنکوب و نیز پسرم اشکان به‌مندهام و کمال تشکر از این عزیزان را دارم.

فصل اول کتاب به معرفی پارامترهای هیدرولیکی و انواع مختلف جریان، حصول معادله‌های حاکم بر جریان، نحوه توزیع سرعت و نیز توزیع فشار در کانال‌های پرآب پرداخته است. در فصل دوم ضمن آشنایی با رابطه انرژی و موارد استفاده آن، به مفهوم انرژی مخصوص و بهره‌گیری از آن در تفسیر تغییرات پروفیل سطح آب در محل عارضه‌هایی چون تغییر عرض و یا تغییر رقوم کف کانال، اشاره گردیده است. در این فصل در خصوص انسداد جریان نیز مطالب موردنیاز آمده‌اند. فصل سوم کتاب، رابطه نیروی مخصوص را معرفی می‌کند نیز در این فصل با پرش هیدرولیکی و مشخصه‌های آن آشنایی حاصل می‌شود. در فصل چهارم، جریان یکنواخت و رابطه‌های مربوط به آن معرفی شده‌اند و روش طراحی کانال فرسایش‌ناپذیر مورد اشاره می‌باشد. جریان متغیر در عرضی و معادله دینامیکی جریان در فصل پنجم آمده است. در این فصل انواع مختلف پروفیل‌های سطح آب گنجانده شده‌اند. فصل ششم به معرفی روش‌های مختلف برای تعیین جانمایی پروفیل سطح آب برای جریان متغیر تدریجی پرداخته است و در فصل هفتم، روابط توزیع سرعت در کانال و برای جریان بر روی بسترهای نفوذناپذیر و نفوذپذیر از کانال ذکر شده‌اند.

از شما خواننده محترم که در بهبود مطالب کتاب برای ویرایش‌های بعدی، مرا از نقطه‌نظرهای ارزشمند خود بهره‌مند می‌سازید سپاسگزار هستم.

حمیدرضا شیبانی

عضو هیئت علمی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه پیام‌نور

[sheibani@pnu.ac.ir](mailto:sheibani@pnu.ac.ir)