

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشگاه بین‌المللی امام خمینی



IMAM KHOMEINI  
INTERNATIONAL UNIVERSITY

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشکده فنی و مهندسی

گروه معدن

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی معدن

( گرایش استخراج )

مدلسازی عددی تراوش آب از پی و تکیه‌گاه‌های سد

کارون ۴ با نرم افزار FLAC

استاد راهنما

دکتر مهدی حسینی

اساتید مشاور

دکتر جواد اشجاری

مهندس داوود زارع

نگارنده

شیروان سازنده

اسفند ۱۳۸۸

IMAM KHOMEINI  
INTERNATIONAL UNIVERSITY

بسمه تعالی

دانشگاه بین‌المللی امام خمینی



دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)  
معاونت آموزشی دانشگاه - مدیریت تحصیلات تکمیلی  
(فرم شماره ۲۶)

تعهد نامه اصالت پایان نامه

اینجانب **شیراز سائزیده** دانشجوی رشته **حقوق جزا و جرم‌شناسی** مقطع تحصیلی **کارشناسی ارشد** بدین وسیله اصالت کلیه مطالب موجود در مباحث مطروحه در پایان نامه اثر تحصیلی خود، با عنوان **بررسی تطبیقی آداب و سنن کرامت‌بخش در نظام کیفری ایران** را تأیید کرده، اعلام می‌نمایم که تمامی محتوی آن حاصل مطالعه، پژوهش و تدوین خودم بوده و به هیچ وجه رونویسی از پایان نامه و یا هیچ اثر یا منبع دیگری، اعم از داخلی، خارجی و یا بین‌المللی، نبوده و تعهد می‌نمایم در صورت اثبات عدم اصالت آن و یا احراز عدم صحت مفاد و یا لوازم این تعهد نامه در هر مرحله از مراحل منتهی به فارغ‌التحصیلی و یا پس از آن و یا تحصیل در مقاطع دیگر و یا اشتغال و ... دانشگاه حق دارد ضمن رد پایان نامه نسبت به لغو و ابطال مدرک تحصیلی مربوطه اقدام نماید. مضافاً اینکه کلیه مسئولیت‌ها و پیامدهای قانونی و یا خسارت وارده از هر حیث متوجه اینجانب می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو **شیراز سائزیده**

امضاء و تاریخ

۱۳۸۸/۳/۱۲

shirvan saadideh

دانشگاه بین‌المللی امام خمینی



IMAM KHOMEINI  
INTERNATIONAL UNIVERSITY

### تأییدیه هیأت داوران

جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای شیروان سازنده رشته مهندسی معدن با عنوان «مدلسازی عددی تراوش آب از پی و تکیه‌گاههای سد کارون ۴ با نرم افزار FLAC» در تاریخ ۱۳۸۸/۱۲/۱۲ در سالن آمفی تئاتر دانشکده فنی و مهندسی برگزار گردید و با نمره ۱۹/۲۵ و درجه عالی مورد تأیید هیأت داوران قرار گرفت.

اعضای هیأت داوران:

استاد راهنما: دکتر مهدی حسینی

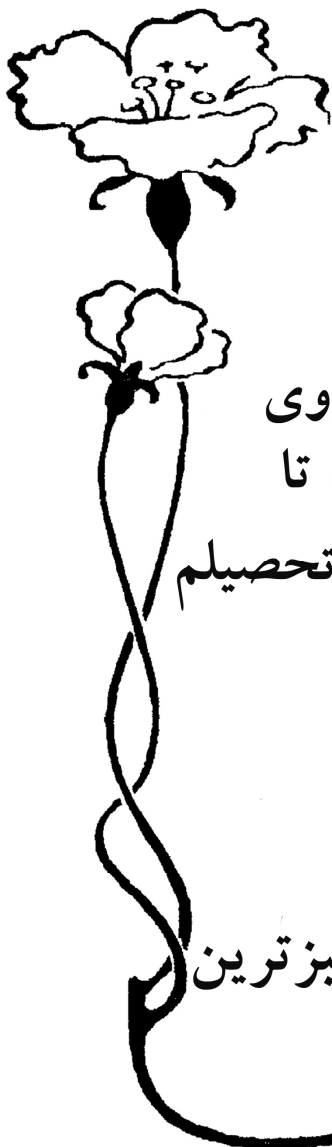
اساتید مشاور:  
دکتر جواد اشجاری

مهندس داوود زارع

داور خارجی: دکتر عبدالهادی قزوینیان

داور داخلی: دکتر عقیقی

نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر علی فضلوی



## تقدیم به

پدر و مادر عزیزم به آنانکه  
سفید موی گشتند تا سفیدروی  
بمانم و خمیده قامت گشتند تا  
راست قامت بمانم و در راه تحصیلم  
از هیچ کمکی دریغ نکردند

و

همسر مهربانم  
اسطوره‌ی مهر و وفا و سرسبزترین  
بهار زندگیم

## چکیده

عمق بهینه پرده آببند با توجه به معیار آببندی و با استفاده از نتایج آزمایشهای نفوذپذیری (لوژان، لوفران) انتخاب می شود. هر چند برای تعیین عمق پرده آببند روابط تجربی ارائه شده است اما نمی توان در مورد هر سدی با شرایط متفاوت، این روابط را بکار برد. بنابراین تاثیر عمق پرده آببند بر روی میزان نشت از پی و تکیه گاههای هر سد باید بطور مجزا صورت گیرد. به منظور بررسی این پارامتر در مورد سد کارون ۴، از روش مدل سازی عددی با نرم افزار FLAC بصورت دو بعدی استفاده شده است.

پس از بررسی وضعیت زمین شناسی منطقه و نتایج آزمایشهای نفوذپذیری در محل محور و تکیه گاههای سد، وجود زونهای نفوذپذیر با مقادیر لوژان بسیار بالا در تکیه گاه چپ و محور سد و بخشی از تکیه گاه راست، مشخص گردید. ضریب نفوذپذیری یکی از پارامترهای مهم در مدل سازی عددی می باشد. در این تحقیق برای تعیین ضریب نفوذپذیری از روابط تجربی میان مقادیر لوژان و ضریب نفوذپذیری استفاده گردید.

برای مدل سازی در هر تکیه گاه و پی سد کارون ۴، از یک مقطع عرضی استفاده شده است. پرده آببند بصورت دیواره ای با نفوذپذیری بسیار پائین در اعماق مختلف تعبیه شده است. پس از مدل سازی پرده آببند با طول های مختلف، عمق بهینه پرده بر اساس میزان نشت، کارایی جریانی پرده، هزینه های حفاری- تزریق و ارزش آب نشتی، تعیین گردید. این عمق در پی، تکیه گاه راست و تکیه گاه چپ به ترتیب ۷۰، ۱۰۴ و ۱۸۴ متر تعیین می گردد.

**کلمات کلیدی:** پرده آببند، نفوذپذیری، مدل سازی عددی، سد کارون ۴، نشت

## تقدیر و تشکر

سپاس پروردگار متعال که بندگان حقیری چون من را در مسیر رشد و تعالی، بهترین یاور است.

در ابتدا از راهنمایی‌های ارزشمند و مداوم جناب آقای دکتر حسینی که مسئولیت علمی بنده را در این تحقیق، بعنوان استاد راهنما برعهده داشتند، صمیمانه تشکر می‌نمایم. از جناب آقای دکتر اشجاری استاد مشاور اینجانب به خاطر راهنمایی‌های ارزنده‌اشان قدردانی می‌شود.

از مدیر محترم بخش حفاری تزریق سد کارون ۴، جناب آقای مهندس زارع که هدایت اینجانب را بعنوان استاد مشاور برعهده داشتند، به خاطر در اختیار قرار دادن امکانات لازم و همکاری‌های صمیمانه‌اشان سپاسگزارم.

همچنین از مهندسین مشاور مهتاب قدس و جناب آقای مهندس محمودیان به خاطر همیاری و کمک به اینجانب تقدیر و تشکر می‌نمایم.

از پدر، مادر، همسر، برادران و خواهران عزیزم که در طول دوران تحصیل همواره یار و یاور من بوده‌اند، از صمیم قلب تشکر می‌نمایم و سلامتی ایشان را از درگاه خداوند متعال خواهانم.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۲	مقدمه
۴	فصل دوم: مدلسازی جریان آب
۵	۱-۲ اصول جریان آب در محیط‌های متخلخل
۵	۱-۱-۲ اصول کلی جریان
۶	۲-۱-۲ معادلات اساسی جریان آب
۷	۳-۱-۲ جریان آب در شرایط اشباع و غیر اشباع
۸	۲-۲ روشهای حل مسائل حرکت آب در محیط همگن
۹	۱-۲-۲ روش تحلیلی
۱۰	۲-۲-۲ روش عددی
۱۱	۱-۲-۲-۲ طراحی مدل
۱۲	۲-۲-۲-۲ انجام یک تحلیل عددی موفق
۱۵	۳-۲-۲ مدل‌های فیزیکی
۱۷	۴-۲-۲ مدل‌های شبیه‌سازی الکتریکی
۱۹	فصل سوم: اندازه‌گیری نشت
۲۰	۱-۳ اندازه‌گیری صحرائی نفوذپذیری در سنگ
۲۱	۲-۳ تفسیر نتایج آزمایش‌های لوژان و رفتارنگاری جریان در سنگ‌ها
۲۷	۳-۳ رابطه لوژان و ضریب نفوذپذیری
۳۶	۴-۳ تراوش در پی سدها
۳۷	۱-۴-۳ رابطه تراوش با نفوذپذیری
۳۹	۲-۴-۳ نیروی نشت
۴۰	۳-۴-۳ محاسبه نشت از پی سدها
۴۰	۱-۳-۴-۳ محاسبات نشت با استفاده از شبکه جریان
۴۳	۲-۳-۴-۳ محاسبه نشت با استفاده از چارته‌ها
۴۵	۳-۳-۴-۳ محاسبه نشت با استفاده از روش Fragment
۴۸	فصل چهارم: مشخصات ساختگاه و زمین‌شناسی عمومی منطقه طرح کارون ۴
۴۹	۱-۴ مشخصات فنی طرح کارون ۴
۵۱	۲-۴ موقعیت جغرافیایی محدوده طرح
۵۳	۳-۴ زمین‌شناسی عمومی و چینه‌شناسی
۵۵	۴-۴ سنگ‌شناسی



۵۸	۵-۴ زمین‌شناسی ساختمانی
۶۱	۶-۴ خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگها
۶۴	۷-۴ نفوذپذیری و سطح آب زیرزمینی
۶۴	۱-۷-۴ نفوذپذیری
۶۵	۲-۷-۴ سطح آب زیرزمینی
۶۷	فصل پنجم: تحلیل عددی نشت در سد کارون ۴
۶۸	۱-۵ معرفی نرم افزار FLAC
۷۰	۲-۵ مدلسازی توسط برنامه
۷۱	۳-۵ ارزیابی هیدروژئولوژیکی
۸۲	۴-۵ محاسبه ضریب نفوذپذیری به وسیله آزمایش لوژان
۸۳	۵-۵ برآورد نشت از تکیه‌گاهها و پی سد مخزنی کارون ۴
۸۴	۱-۵-۵ برآورد نشت از تکیه‌گاه راست طرح سد و نیروگاه کارون ۴
۹۴	۲-۵-۵ برآورد نشت از تکیه‌گاه چپ طرح سد و نیروگاه کارون ۴
۹۹	۳-۵-۵ برآورد نشت از پی طرح سد و نیروگاه کارون ۴
۱۰۶	۶-۵ بررسی تاثیر پرده آب‌بند بر میزان فشار منفذی
۱۰۶	۱-۶-۵ تکیه‌گاه راست
۱۰۹	۲-۶-۵ تکیه‌گاه چپ
۱۱۱	۳-۶-۵ پی سد
۱۱۴	فصل ششم: نتایج و پیشنهادات
۱۱۶	منابع و مآخذ
۱۱۹	پیوست

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۸	جدول ۱-۲: عناصر مشابه جریان آب در خاک و جریان الکتریسیته در هادی‌ها
۲۸	جدول ۱-۳: طبقه‌بندی کیفیت نفوذپذیری بر اساس لوژان
۵۴	جدول ۱-۴: مشخصات بخش‌های مختلف سازند آسماری در ساختگاه سد کارون ۴
۵۵	جدول ۲-۴: درصد اکسیدهای تشکیل دهنده سنگ آهک
۵۶	جدول ۳-۴: درصد اکسیدهای تشکیل دهنده سنگ آهک مارنی
۵۷	جدول ۴-۴: درصد اکسیدهای تشکیل دهنده سنگ مارن آهکی
۵۸	جدول ۵-۴: درصد اکسیدهای تشکیل دهنده سنگ آهک متخلخل
۵۹	جدول ۶-۴: مشخصات ناپیوستگی‌های تکیه‌گاه چپ ( JL ) و راست ( JR ) سد
۶۰	جدول ۷-۴: مشخصات گسل‌های محل سد کارون ۴
۶۲	جدول ۸-۴: نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی روی انواع مختلف سنگ
۶۳	جدول ۹-۴: مقادیر نهایی پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ ساختگاه سد کارون ۴
۶۶	جدول ۱۰-۴: میزان دبي متوسط آب در ماه‌های مختلف سال در رودخانه کارون
۷۳	جدول ۱-۵: تغییرات نفوذپذیری در گمانه BH1 بر روی تکیه‌گاه راست سد
۷۴	جدول ۲-۵: تغییرات نفوذپذیری در گمانه BH2 بر روی تکیه‌گاه راست سد
۷۶	جدول ۳-۵: تغییرات نفوذپذیری در گمانه BH6 بر روی بستر رودخانه در سنگ پی سد
۷۷	جدول ۴-۵: تغییرات نفوذپذیری در گمانه BH7 بر روی بستر رودخانه در سنگ پی سد
۸۰	جدول ۵-۵: تغییرات نفوذپذیری در گمانه BH3 بر روی تکیه‌گاه چپ
۸۱	جدول ۶-۵: تغییرات نفوذپذیری در گمانه BH4 بر روی تکیه‌گاه چپ
۸۲	جدول ۷-۵: تغییرات نفوذپذیری در گمانه BH13 بر روی تکیه‌گاه چپ
۸۲	جدول ۸-۵: نتیجه‌گیری در مورد وضعیت آبگذری توده‌های سنگ ساختگاه سد کارون ۴
۸۶	جدول ۹-۵: پارامترهای ورودی نرم افزار FLAC برای مدل‌سازی جریان آب
۹۳	جدول ۱۰-۵: نتایج نهایی مدل‌سازی جریان آب در تکیه‌گاه راست سد کارون ۴
۹۹	جدول ۱۱-۵: نتایج نهایی مدل‌سازی جریان آب در تکیه‌گاه چپ سد کارون ۴
۱۰۴	جدول ۱۲-۵: نتایج نهایی مدل‌سازی جریان آب در پی سد کارون ۴
۱۰۴	جدول ۱۳-۵: ارزش آب و هزینه حفاری- تزریق
۱۰۵	جدول ۱۴-۵: مقایسه بین حالات پنجم و ششم در تکیه‌گاه چپ سد
۱۰۵	جدول ۱۵-۵: مقایسه بین حالات ششم و هفتم در تکیه‌گاه چپ سد
۱۰۵	جدول ۱۶-۵: مقایسه بین حالات پنجم و هفتم در تکیه‌گاه چپ سد
۱۰۹	جدول ۱۷-۵: فشار منفذی در سه نقطه از مدل در تکیه‌گاه راست
۱۱۱	جدول ۱۸-۵: فشار منفذی در سه نقطه از مدل در تکیه‌گاه چپ
۱۱۳	جدول ۱۹-۵: فشار منفذی در دو نقطه از مدل در پی سد

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۵.....	شکل ۱-۲: شکل کلی آزمایش داریسی .....
۱۱.....	شکل ۲-۲: شبکه مربعی شکل برای حل معادله لاپلاس از طریق تفاضل محدود .....
۱۵.....	شکل ۲-۳: مدل گوه شکل برای سیستم‌هایی که دارای تقارن محوری هستند(سمت راست) و جعبه مستطیلی برای سیستم‌های جریان دو بعدی و عمودی(سمت چپ).....
۱۶.....	شکل ۲-۴: A: ضریب نفوذپذیری معادل، جریان افقی در محیط لایه‌ای .....
۱۶.....	B: ضریب نفوذپذیری معادل، جریان قائم در محیط لایه‌ای.....
۱۷.....	شکل ۲-۵: مقاومتها در شبیه‌ساز شبکه مقاومتی- شبکه مقاومتها و شبیه‌سازی نشت زیر سد.....
۲۰.....	شکل ۳-۱: نمای کلی آرایش تجهیزات آزمون لوژان.....
۲۲.....	شکل ۳-۲: طبقه‌بندی هولسبی برای رفتار جریان در آزمون لوژان بر اساس ۸۱۱ آزمایش انجام گرفته توسط ایشان.....
۲۴.....	شکل ۳-۳: رفتار خطی توده سنگ در برابر جریان در فشارهای مختلف آزمایش لوژان.....
۲۴.....	شکل ۴-۳: رفتار آشفته توده سنگ در برابر جریان در فشارهای مختلف آزمایش لوژان.....
۲۵.....	شکل ۳-۵: رفتار اتساعی توده سنگ در برابر جریان در فشارهای مختلف آزمایش لوژان.....
۲۵.....	شکل ۳-۶: رفتار آب شستگی توده سنگ در برابر جریان در فشارهای مختلف آزمایش لوژان.....
۲۶.....	شکل ۳-۷: رفتار پرشدگی حفرات توده سنگ در برابر جریان در فشارهای مختلف آزمایش لوژان.....
۲۷.....	شکل ۳-۸: نمودارهای شش گانه P-Q.....
۲۸.....	شکل ۳-۹: رابطه تجربی بین لوژان و نفوذپذیری.....
۳۰.....	شکل ۳-۱۰: روش ارائه شده توسط USBR برای تخمین ضریب نفوذپذیری.....
۳۳.....	شکل ۳-۱۱: رابطه میان جذب آب و ضریب نفوذپذیری.....
۳۵.....	شکل ۳-۱۲: نمودارهای ارزیابی نفوذپذیری در آزمایش لوژان- (الف) تصویر ساده نصب،.....
۳۵.....	(ب) نمودار محاسبه پارامتر X، (ج) نمودار محاسبه ضریب $C_{II}$ (د) نمودار محاسبه ضریب $C_S$ .....
۳۷.....	شکل ۳-۱۳: تراوش در زیر یک سد بتنی یا سپر فولادی.....
۴۱.....	شکل ۳-۱۴: شبکه جریان در زیر یک سد.....
۴۲.....	شکل ۳-۱۵: نشت از زیر یک سد.....
۴۳.....	شکل ۳-۱۶: میزان نشت از پی سد.....
۴۴.....	شکل ۳-۱۷: گرادیان و نشت در سه سازه مختلف.....
۴۵.....	شکل ۳-۱۸: تقسیم‌بندی محیط در روش Fragment.....
۴۶.....	شکل ۳-۱۹: انواع تیپ‌های متداول Fragment.....
۴۷.....	شکل ۳-۲۰: مقدار نشت برای سازه‌ای با ابعاد مشخص.....
۴۹.....	شکل ۴-۱: جانمایی بدنه و تونل‌های تزریق و تفکیک زمین‌شناسی در ساختگاه سد کارون ۴.....
۵۰.....	شکل ۴-۲: تونل‌های آب بر به سمت نیروگاه سد.....
۵۰.....	شکل ۴-۳: نمایی از بدنه سد کارون ۴.....
۵۲.....	شکل ۴-۴: موقعیت جغرافیایی ساختگاه سد کارون ۴.....
۵۹.....	شکل ۴-۵: صفحه ناپیوستگی‌های اصلی تکیه‌گاه راست سد کارون ۴ بر اساس اطلاعات جدول ۴-۶.....
۵۹.....	شکل ۴-۶: صفحه ناپیوستگی‌های اصلی تکیه‌گاه چپ سد کارون ۴ بر اساس اطلاعات جدول ۴-۶.....

- شکل ۴-۷: مقاومت فشاری انواع مختلف سنگ در شرایط طبیعی و اشباع..... ۶۳
- شکل ۴-۸: نمودار توزیع فراوانی مقادیر نفوذپذیری توده سنگ در ساختگاه سد کارون ۴..... ۶۵
- شکل ۵-۱: مقطع عرضی  $RB - RB'$  بر روی تکیه‌گاه راست سد کارون ۴..... ۸۵
- شکل ۵-۲: وضعیت نفوذپذیری سازند آسماری، سازند پابده و پرده آب‌بند در تکیه‌گاه راست سد..... ۸۵
- شکل ۵-۳: نمودار هولسی برای تعیین عدد لوژان پرده آب‌بند..... ۸۸
- شکل ۵-۴: نقشه شماتیک مقطع مدل در حالت یک برای تکیه‌گاه راست..... ۸۹
- شکل ۵-۵: نمودار میزان دبی نشت در مدل تکیه‌گاه راست در حالت اول..... ۹۲
- شکل ۵-۶: نمودار میزان دبی نشت در مدل تکیه‌گاه راست در حالت دوم..... ۹۰
- شکل ۵-۷: نمودار میزان دبی نشت در مدل تکیه‌گاه راست در حالت سوم..... ۹۱
- شکل ۵-۸: نمودار میزان دبی نشت در مدل تکیه‌گاه راست در حالت چهارم..... ۹۱
- شکل ۵-۹: شکل هندسی ارائه شده توسط آقای دوپیت برای بدست آوردن میزان دبی نشت از یک مقطع..... ۹۳
- شکل ۵-۱۰: مقطع عرضی  $LC - LC'$  بر روی تکیه‌گاه چپ سد کارون ۴..... ۹۴
- شکل ۵-۱۱: وضعیت نفوذپذیری سازند آسماری، سازند پابده و پرده آب‌بند در تکیه‌گاه چپ سد..... ۹۵
- شکل ۵-۱۲: نمودار میزان دبی نشت در مدل تکیه‌گاه چپ در حالت اول..... ۹۶
- شکل ۵-۱۳: نمودار میزان دبی نشت در مدل تکیه‌گاه چپ در حالت دوم..... ۹۶
- شکل ۵-۱۴: نمودار میزان دبی نشت در مدل تکیه‌گاه چپ در حالت سوم..... ۹۷
- شکل ۵-۱۵: نمودار میزان دبی نشت در مدل تکیه‌گاه چپ در حالت چهارم..... ۹۷
- شکل ۵-۱۶: نمودار میزان دبی نشت در مدل تکیه‌گاه چپ در حالت پنجم..... ۹۸
- شکل ۵-۱۷: نمودار میزان دبی نشت در مدل تکیه‌گاه چپ در حالت ششم..... ۹۸
- شکل ۵-۱۸: نمودار میزان دبی نشت در مدل تکیه‌گاه چپ در حالت هفتم..... ۹۹
- شکل ۵-۱۹: مقطع عرضی  $P - P'$  بر روی پی سد کارون ۴..... ۱۰۰
- شکل ۵-۲۰: وضعیت نفوذپذیری سازند آسماری، سازند پابده و پرده آب‌بند در پی سد..... ۱۰۰
- شکل ۵-۲۱: بردارهای جریان عبوری از مدل پی در حالت اول..... ۱۰۱
- شکل ۵-۲۲: نمودار میزان دبی نشت در مدل پی سد در حالت اول..... ۱۰۲
- شکل ۵-۲۳: نمودار میزان دبی نشت در مدل پی سد در حالت دوم..... ۱۰۲
- شکل ۵-۲۴: نمودار میزان دبی نشت در مدل پی سد در حالت سوم..... ۱۰۳
- شکل ۵-۲۵: نمودار میزان دبی نشت در مدل پی سد در حالت چهارم..... ۱۰۳
- شکل ۵-۲۶: خطوط جریان در تکیه‌گاه راست در حالت بدون پرده آب‌بند..... ۱۰۷
- شکل ۵-۲۷: خطوط جریان در تکیه‌گاه راست در حالتی که پرده به سازند پابده دوخته شده است..... ۱۰۷
- شکل ۵-۲۸: توزیع فشار منفذی در تکیه‌گاه راست در حالت بدون پرده آب‌بند..... ۱۰۸
- شکل ۵-۲۹: توزیع فشار منفذی در تکیه‌گاه راست در حالتی که پرده به سازند پابده دوخته شده است..... ۱۰۸
- شکل ۵-۳۰: خطوط جریان در تکیه‌گاه چپ در حالت بدون پرده آب‌بند..... ۱۰۹
- شکل ۵-۳۱: خطوط جریان در تکیه‌گاه چپ در حالتی که پرده به سازند پابده دوخته شده است..... ۱۱۰
- شکل ۵-۳۲: توزیع فشار منفذی در تکیه‌گاه چپ در حالت بدون پرده آب‌بند..... ۱۱۰
- شکل ۵-۳۳: توزیع فشار منفذی در تکیه‌گاه چپ در حالتی که پرده به سازند پابده دوخته شده است..... ۱۱۱
- شکل ۵-۳۴: خطوط جریان در پی سد در حالت بدون پرده آب‌بند..... ۱۱۲
- شکل ۵-۳۵: خطوط جریان در پی سد در حالتی که پرده به سازند پابده دوخته شده است..... ۱۱۲

- شکل ۵-۳۶: توزیع فشار منفذی در پی سد در حالت بدون پرده آببند ..... ۱۱۳
- شکل ۵-۳۷: توزیع فشار منفذی در پی سد در حالتی که پرده به سازند پایده دوخته شده است ..... ۱۱۳

فصل اول

مقدمه

## مقدمه

تغییرات شبکه جریان آب زیرزمینی و افزایش هد آب در تکیه‌گاهها و پی سد پس از آبیگری سدها از تبعات منفی احداث سد محسوب می‌شود. به منظور جلوگیری از پیامدهای منفی آن مانند افزایش فشار برخاست و خطرات پایداری، فرسایش شالوده و شکست هیدرولیکی و فرار آب مخزن، روشهای مختلفی اتخاذ می‌شود که احداث پرده آب‌بند یکی از این تدابیر محسوب می‌شود. میزان تاثیر پرده آب‌بند بر روی کاهش میزان دبی نشت از تکیه‌گاهها و پی سد را می‌توان با تهیه مدلی از هر کدام از تکیه‌گاهها و پی سد مورد بررسی قرار داد.

سیستم‌های جریان آب در حالت‌های خیلی ساده بطرق ریاضی قابل تحلیل می‌باشند. روشهای مختلف مسائل حرکت آب در خاک عبارتند از: حل تحلیلی، حل عددی، آنالوگهای الکتریکی، مدل‌های هیدرولیکی و ترسیم شبکه جریان. جریان آب زیرزمینی در محیط‌های متخلخل غالباً به صورت مدل‌های دو بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

به منظور تحلیل و بررسی فرآیند نشت به کمک روشهای عددی، یکی از مهمترین پارامترهای ورودی مورد نیاز، ضریب نفوذپذیری توده‌سنگ می‌باشد. این ضریب که نخستین بار توسط دارسی معرفی شد از آزمایش دارسی بدست می‌آید. تعیین ضریب نفوذپذیری توده‌سنگ معمولاً بوسیله آزمایشهای برجا صورت می‌گیرد. معروف‌ترین این آزمایشها، آزمایش فشار آب<sup>1</sup>(WPT)، تحت عنوان مبدع آن لوژان می‌باشد.

یک لوژان، برابر است با خروج یک لیتر آب در یک دقیقه در یک متر از طول مقطع آزمایش تحت فشار یک مگاپاسکال. بنابراین تبدیل واحد لوژان به ضریب نفوذپذیری دارسی اولین گام در تحلیل نشت است. برای این منظور از نمودارها و روابط تجربی استفاده شده است.

نشت در تکیه‌گاهها و پی نفوذپذیر می‌تواند به کمک ایجاد یک دیواره حائل با نفوذپذیری کم، مانند پرده آب‌بند کنترل شود. اصولاً تزریق روشی است که طی آن ماده تزریق تحت فشار به داخل حفرات، خلل و فرج و شکافهای تشکیلات سنگی یا خاکی تزریق می‌شود تا بدین وسیله نفوذپذیری محیط کاهش یابد. مؤثرترین پارامتر پرده آب‌بند بر میزان نشت، عمق نفوذ پرده آب‌بند می‌باشد. بنابراین بایستی در تعیین عمق بهینه پرده آب‌بند حداکثر دقت و تحلیل را انجام داد تا میزان دبی نشت کمینه گردد. پرده آب‌بند باید نفوذپذیری را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد و برای اینکه بتواند روی شبکه جریان و جریان زهکشی مؤثر باشد، باید ترجیحاً کف آن به لایه‌های با نفوذپذیری کمتر برسد تا بتواند جریان و شیب زهکشی خروجی را شدیداً کاهش دهد. هدف از پرده آب‌بند آن است که همه مسیرهای با نفوذپذیری زیاد قطع و آب‌بندی شود.

در این پایان‌نامه ابتدا به بررسی جریان آب در محیط‌های متخلخل پرداخته شده است که اصول کلی جریان آب، معادلات اساسی جریان آب و جریان آب در شرایط اشباع و غیر اشباع بیان شده‌اند. همچنین خلاصه‌ای از مبانی روشهای حل مسائل حرکت آب در محیط همگن توضیح داده شده‌اند که در این میان طراحی مدل به روش عددی و مراحل انجام کار با این روش بطور کامل تشریح شده است.

سپس اندازه‌گیری صحرایی نفوذپذیری در سنگ و آزمایش لوژان و تفسیر نتایج حاصل از آزمایش لوژان به منظور رفتارنگاری جریان در سنگ‌ها توضیح داده شده است. نحوه محاسبه ضریب نفوذپذیری از روی مقادیر حاصل از آزمایش لوژان یکی از مهم‌ترین مراحل در مدلسازی مورد نظر می‌باشد که غالباً با کمک روابط تجربی صورت می‌گیرد و در این فصل مورد بررسی قرار گرفته است. سپس مبانی تراوش در پی سدها و رابطه تراوش با نفوذپذیری و نیروی نشت توضیح داده شده است. بررسی روشهای تخمین میزان نشت از پی سد از دیگر موارد مطرح شده در این فصل می‌باشد. در فصل بعد به منظور آشنایی کامل با طرح سد و نیروگاه کارون ۴، ابتدا مشخصات فنی و اهداف اجرایی طرح، مطرح شده است. سپس مشخصات ساختگاه و زمین شناسی عمومی منطقه کارون ۴ مورد بررسی قرار گرفته است و در نهایت خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگهای منطقه و وضعیت نفوذپذیری و سطح آب زیرزمینی توضیح داده شده‌اند.

در فصل بعدی، ابتدا در مورد نرم افزار مورد استفاده یعنی نرم افزار FLAC و مبانی کار نرم افزار و مطالب مربوط به مدلسازی جریان آب در نرم افزار توضیح داده شده، سپس نتایج حاصل از حفاری گمانه‌های اکتشافی به منظور تعیین میانگین عدد لوژان مربوط به هر بخش از ساختگاه سد مورد بررسی قرار گرفته است. مدلسازی تکیه‌گاهها و پی سد توسط برنامه FLAC انجام شده است؛ بر اساس میزان دبی نشت حاصل از تحلیل هر مدل، برآورد هزینه‌های حاصل از احداث پرده آب‌بند و تعیین ارزش آب نشتی، عمق بهینه پرده آب‌بند در تکیه‌گاهها و پی سد تعیین شده است. در نهایت در فصل آخر، نتایج و پیشنهادات ارائه شده است.



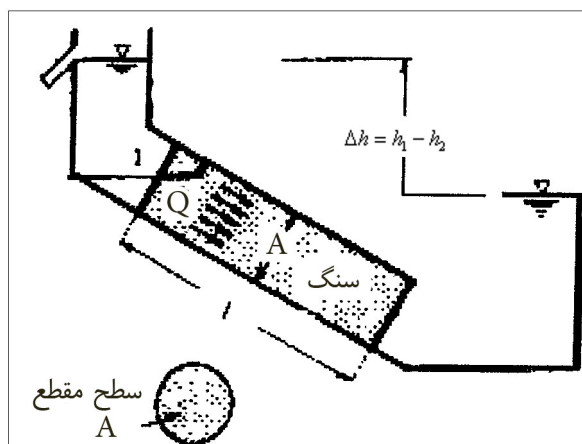
فصل دوم

مدلسازی جریان آب

## ۱-۲ اصول جریان آب در محیط‌های متخلخل

### ۱-۱-۲ اصول کلی جریان

در سال ۱۸۵۶، داری<sup>۱</sup> نتایج آزمایش‌هایی را که در پاریس انجام داده بود، منتشر کرد و یک قانون که اکنون اصل اساسی جریان در فضاهای خالی است را بیان نمود. وی یک روش، مشابه آنچه در شکل ۱-۲ نشان داده شده است را برای مطالعه جریان از یک بستر ماسه‌ای، بکار برد.



شکل ۱-۲: شکل کلی آزمایش داری [۱]

با تغییر دادن طول ستون ماسه  $\Delta s$  و ارتفاع آب در ماسه، وی کشف کرد که میزان جریان، متناسب با مقدار افت ارتفاع آب در طول فیلتر  $(h_1 - h_2)$  است. میزان جریان برای یک نوع خاص از ماسه که سطح مقطع مشابه  $A$  دارد، با پارامتر  $\Delta s$ ، نسبت معکوس دارد. این نتایج به صورت ریاضی به صورت زیر بیان می‌شود.

$$Q = K \frac{h_1 - h_2}{\Delta s} \cdot A \quad \text{رابطه (۱-۲)}$$

$$V = \frac{Q}{A} = K \cdot i \quad \text{رابطه (۲-۲)}$$

در اینجا  $i$  گرادیان هیدرولیکی و ضریب نسبی  $K$  هدایت هیدرولیکی می‌باشد که واحد سرعت دارد. حد  $\Delta s$  وقتی به سمت صفر میل می‌کند، طبق رابطه داری عبارتست از:

$$i = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta h}{\Delta s} = -\frac{dh}{ds} \quad \text{رابطه (۳-۲)}$$

علامت منفی نشان می‌دهد که ارتفاع آب در مسیر جریان کاهش می‌یابد. هد پیزومتریک  $h$  به طور معمول عبارتست از هد ارتفاع  $(Z)$  و هد فشار جریان آب  $(h = \frac{P}{\rho \cdot g} + Z)$ .

1- H.Darcy

قانون داری، قانون کلی جریان آب در محیط‌های مختلف است. اما این قانون فقط برای جریان‌های آرام در خاکها صادق است.

با توجه به اینکه قانون داری، وجود پتانسیل سرعتی را نشان می‌دهد، و به دلیل سادگی محاسبات نظری، که کاربرد عملی این قانون را سهل و ممکن می‌نماید، لذا لازم است که کاربرد عملی قانون داری در مسائل مربوط به جریان آب درک شود. اما نباید فراموش کرد که عوامل دیگری مانند

- عدم همگنی خاک

- نحوه قرارگیری دانه‌ها در محیط

- تغییرات دما که موجب تغییر گرانیروی آب می‌شود

خود موجب اعمال تصحیحاتی می‌شوند که به مراتب از تفاوت‌هایی که در فوق به آنها اشاره شد، دارای اهمیت بیشتری می‌باشند [۱].

## ۲-۱-۲ معادلات اساسی جریان آب

در جریان‌های یک بعدی، خطوط جریان بصورت خطی و موازی همدیگر می‌باشند. در عمل وضع بدین گونه نیست و لازم است تا جریان‌های دو بعدی و سه بعدی مد نظر قرار گیرند. لزوم بررسی نظری این نوع جریان‌ها به تعمیم دادن قانون داری انجامیده است. به عبارت دیگر قانون داری به گونه‌ای که در فوق به آن اشاره شد، رابطه‌ای میان مقادیر گرادیان هیدرولیکی و سرعت است و امتدادها در آن تأثیری ندارد. لذا این قانون به تنهایی برای بررسی جریان‌های چند بعدی کفایت نمی‌کند.

با توجه به آنچه عنوان شد، تعمیم دادن قانون داری در یک محیط همگن و همسان ساده است. کافی است گرادیان هیدرولیکی و بردار افت سرعت را به صورت بردارهای موازی در نظر گرفت. در این صورت روابط زیر برقرار است:

$$\vec{V} = -K \cdot \vec{grad} h \quad \text{رابطه (۲-۴)}$$

$$\vec{V} = \vec{grad} (-Kh) \quad \text{رابطه (۲-۵)}$$

این روابط حالت کلی قانون داری را نشان می‌دهند.

با ترکیب شرط پیوستگی و قانون داری در محیطی که آب در درون آن جریان دارد و بدون اینکه تغییر حجمی در این خاک پدید آید، روابط زیر را می‌توان نوشت:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad \text{رابطه (۲-۶)}$$

$$v_x = -K \frac{\partial h}{\partial x} \quad \text{رابطه (۲-۷)}$$

$$v_y = -K \frac{\partial h}{\partial y} \quad \text{رابطه (۲-۸)}$$

$$v_z = -K \frac{\partial h}{\partial z} \quad \text{رابطه (۹-۲)}$$

کاربرد مدل محیط متخلخل در مورد سنگهای شکافدار، تقریب زیادی را نسبت به شرایط واقعی نشان می‌دهد. فرضیات لازم برای استفاده از این مدل به شرح زیر می‌باشند:

تراوش آب در خلل و فرج به صورت آرام می‌باشد و قانون داریسی بر آن حاکم است.

با این فرضیات و با توجه به روابط (۶-۲) تا (۹-۲)، معادله دیفرانسیل درجه ۲ لاپلاس به دست می‌آید که معادله عمومی حرکت آب در محیط متخلخل است:

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad \text{رابطه (۱۰-۲)}$$

برای بررسی نظریه تراوش و جریان آب از بسط قانون داریسی و معادله لاپلاس با فرض همگن و همسان بودن محیط استفاده می‌شود و معادلات جریان و تراوش بدست می‌آیند، که خوانندگان برای آشنایی بیشتر می‌توانند به کتاب شمسایی مراجعه نمایند. برای محیط‌های غیر همسان و غیر همگن نیز از روابط داریسی و لاپلاس استفاده می‌شود. ولی معمولاً این محیط‌ها با روش‌های عددی تحلیل می‌گردند [۱].

### ۳-۱-۲ جریان آب در شرایط اشباع و غیر اشباع

بطور تئوری می‌توان جریان غیر اشباع را بصورت جریان دو فاز آب و هوا مورد بررسی قرار داد. در جسم غیر اشباع، قسمتی از آبراهه‌های کوچک توسط هوا پر می‌شود، که بطور فیزیکی مانعی در مقابل حرکت آب است. بدین ترتیب حل سیستم‌های جریان غیر اشباع، عبارتست از حل اساسی دیفرانسیل جریان برای محیطی که در آن هدایت هیدرولیکی غیر اشباع ( $K_h$ ) تابعی از ارتفاع نظیر فشار ( $h$ ) می‌باشد [۲].

مطالعات زیادی در زمینه تغذیه مصنوعی روی پدیده جریان آب و بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در شرایط کاملاً اشباع صورت گرفته است.

در مطالعات انجام گرفته توسط موریو و لوتین<sup>۱</sup> و نیز عبدالرزاق و مورل سیتار<sup>۲</sup> از حضور منطقه مویبگی صرفنظر شده است. اما در مطالعات تعداد دیگری از محققین، منطقه غیر اشباع یا مویبگی منظور شده است.

مطالعات زیادی در مورد حرکت آب در محیط‌های متخلخل یک لایه‌ای همگن و همسانگرد انجام گرفته است. ناراسیم و ویدراسپون<sup>۳</sup> میزان ارتباط گودال‌های بزرگ را با دبی تخلیه (نشت) آب بدست آوردند. آنها نشان دادند که در یک سیستم همسان و یک لایه‌ای، ابعاد بهینه منطقه تخلیه آب به ضخامت ناحیه جریان بستگی دارد. آنها در مطالعات خود در یک محیط دو بعدی، به این نتیجه

1- Morio & Lutin

2- Abdulrazzak & Morel-Seytar

3- Narasimh & Witherspoon