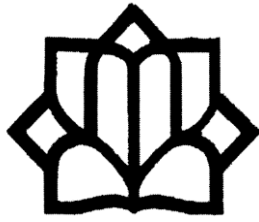


الله الرحمن



دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی

گروه معدن

## پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی معدن (استخراج)

عنوان:

**ارزیابی هیدروژئولوژیکی ساختگاه سد سردشت**

**و برآورد نشت از پی و تکیه گاه ها**

استاد راهنما:

دکتر مسن بخشنده امنیه

توسط:

امسان ترابی

بهمن ۱۳۹۳

## شکرگزار خدا نباید، هر آنکه سپاسگزار بنده نباشد.

بر خود لازم دانسته از زحمات بی دریغ اساتید گروه معدن که در این چند سال افتخار شاگردی ایشان را داشته تشکر نمایم. همچنین از جناب دکتر حسن بخشنده امنیه استاد راهنما و اساتید بزرگوار دکتر کوروش شهریار و دکتر علی عالی انوری داوران حاضر در جلسه دفاع صمیمانه قدردانی می شود.

تقدیم به پدر و مادر عزیز و همسر مهربانم که دعای خیر ایشان همواره  
بدرقه راه من بوده است.

## چکیده

آنالیز نشت و آببندی پی و تکیه گاه ها یکی از مراحل اساسی و ضروری در طراحی سدها است و در بسیاری از موارد احداث سد را از نظر اقتصادی و تحلیل پایداری غیر قابل توجه می کند. در برآورد میزان نشت، خصوصیات ساختگاه (نوع سنگ، میزان دوام، قابلیت انحلال، هوازدگی و غیره) و توجه به وضعیت درزه داری به علت قابلیت گذردهی بالای جریان از آن در مقایسه با تخلخل بین دانه های ماده سنگ بسیار حائز اهمیت است. از طرفی میزان گذردهی توده سنگ به دلیل تغییراتی که در بازشدگی درزه ها ایجاد می شود بسیار تاثیر پذیر از تنش های موثر وارد بر آن است. ساختگاه سد در حین احداث و پس از آبدگیری دستخوش تغییرات زیادی در تنش های موثر وارد بر آن می شود. بنابراین بررسی رفتار هیدرومکانیکی در برآورد میزان نشت از ساختگاه از اهمیت ویژه ای برخوردار است. از طرفی برآورد میزان نشت از توده سنگ به سبب ساختار پیچیده ناشی از وجود درزه در مقیاس بزرگ با روش های تحلیلی و محاسبات دستی بسیار وقت گیر و چه بسا غیر قابل انجام است. بنابراین در این تحقیق به کمک مدل سازی عددی روش المان مجزا تخمینی از وضعیت نشت با در نظر گرفتن رفتار متقابل هیدرومکانیک توده سنگ در پی سنگ سد سردشت انجام شده است. با توجه به وارد شدن درزه در ساختار مدل و در نظر گرفتن تاثیر توامان تنش-نفوذپذیری شرایط مدل نزدیکی بیشتری به شرایط طبیعی ساختگاه نسبت به روش های مرسوم مدل سازی به روش المان پیوسته دارد. لازم به ذکر است تخمین کلی جریان نشت آب به کمک روش تحلیلی  $10^{-2} * 1/0.5$  m<sup>3</sup>/sec و به روش عددی  $10^{-2} * 0/43$  m<sup>3</sup>/sec بوده که به میزان قابل توجهی باهم مطابقت دارد.

**کلمات کلیدی:** تنش-جریان، درزه، نشت، سد سردشت، تحلیل عددی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲	۱- فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- کلیات
۲	۱-۲- هدف و ضرورت انجام پروژه
۴	۲- فصل دوم: مفاهیم تنش و جریان
۴	۱-۲- مقدمه
۵	۲-۲- جریان آب در محیط متخلخل
۶	۲-۳- هدایت هیدرولیکی یک ناپیوستگی منفرد
۸	۲-۴- هدایت هیدرولیکی گروه ناپیوستگی
۸	۲-۴-۱- آستانه نشت
۹	۲-۴-۲- مفهوم REV (حجم معرف المان)
۱۱	۲-۵- تانسور نفوذپذیری
۱۲	۲-۵-۱- روش تویسم در برآورد تانسور نفوذپذیری
۱۴	۲-۶- بازشدگی مکانیکی (EM)
۱۵	۲-۷- بازشدگی هیدرولیکی (EH)
۱۷	۲-۸- رابطه بازشدگی هیدرولیکی و مکانیکی
۱۷	۲-۹- رفتار هیدرومکانیکی تک درزه
۱۸	۲-۹-۱- رفتار عمودی درزه
۱۹	۲-۹-۲- رفتار برشی
۲۰	۲-۹-۳- اتساع برشی
۲۰	۲-۱۰- تاثیر ناپیوستگی بر رفتار مکانیکی توده سنگ
۲۶	۲-۱۱- تاثیر ناپیوستگی بر رفتار هیدرولیکی توده سنگ
۲۸	۲-۱۲- تاثیر متقابل هیدرومکانیکی
۲۸	۲-۱۲-۱- مدل تحلیلی
۲۹	۲-۱۲-۲- تغییر در نفوذپذیری به عنوان تابعی از تغییرات تنش با نسبت تنش ثابت
۳۲	۲-۱۲-۳- تغییر در نفوذپذیری به عنوان تابعی از تغییرات نرخ تنش
۳۶	۳- فصل سوم: مروری بر مطالعات پیشین محققین
۳۶	۱-۳- مطالعات میدانی
۳۶	۱-۳-۱- علی ارومیه ای؛ ۲۰۰۰
۳۷	۱-۳-۲- 2003; SEDAT TURKMEN

۳۸	جین-یانگ لی، یی-ناون چوی، هیونگ-سو کیم، سئونگ-تاک یون؛ ۲۰۰۵	۳-۱-۳
۳۹	قبادی، خانلری، جلالی؛ ۲۰۰۵	۴-۱-۳
۴۰	عبدالباقی وضعی رودی؛ ۱۳۸۵	۵-۱-۳
۴۱	2009; HE YU, SHOUJI LI, YANGXI LIU, CHANGLIN CHEN	۶-۱-۳
۴۳	محمد غفوری، غلامرضا لشکری پور، طاهر مرادی، فهیمه صالحی متعهد؛ ۱۳۸۸	۷-۱-۳
۴۵	مطالعات عددی	۲-۳
۴۵	احسان مختاری، علی ارومیه ای، محمدرضا نیکودل، سید محمد حسینی؛ ۱۳۸۴	۱-۲-۳
۴۶	ارومیه ای، برزگری؛ ۲۰۰۷	۲-۲-۳
۴۶	احسان مختاری، علی ارومیه ای، محمدرضا نیکودل، سید محمد حسینی؛ ۱۳۸۵	۳-۲-۳
۴۷	حجت سیدی، مهدی کرمی مقدم، مجتبی آذری دهکردی؛ ۱۳۸۷	۴-۲-۳
۴۹	زینب تکبیری، امین راسخ، محمد هادی افشار؛ ۲۰۱۰	۵-۲-۳
۵۰	حجت میرانی مقدم، رادین اسپندار؛ ۱۳۸۸	۶-۲-۳
۵۰	سعید پور کریمی کوکنه، محمد حسنلوراد، حسین ملاعباسی؛ ۱۳۸۹	۷-۲-۳
۵۱	فصل چهارم: مبانی مدل سازی اندرکنش هیدرومکانیکی توده سنگ با استفاده از روش المان مجزا	۴-
۵۱	مقدمه	۱-۴
۵۲	هیدرولیک درزه	۲-۴
۵۵	مدلسازی هندسی	۳-۴
۵۷	مدل سازی جریان در 3DEC	۴-۴
۵۸	توصیف هندسی مدل‌های جریان	۵-۴
۵۹	هندسه مدل‌های جریان	۶-۴
۶۰	پارامترهای موثر در جریان سیال	۷-۴
۶۱	تاثیر توزیع تنش	۱-۷-۴
۶۱	تاثیرات ناشی از عملیات حفاری و انفجار	۲-۷-۴
۶۱	اثر ناشی از جریان دو فازی (آزاد شدن گازهای محلول در آب و مویبستگی درزه)	۳-۷-۴
۶۲	تاثیر متقابل سیال و توده سنگ	۴-۷-۴
۶۳	تاثیر خصوصیات توده سنگ	۵-۷-۴
۶۳	تاثیر ابعاد مدل و شرایط مرزی	۶-۷-۴
۶۴	سختی قائم و برشی درزه ها [KN , KS]	۷-۷-۴
۶۶	تاثیر زاویه شیب و امتداد درزه	۸-۷-۴
۶۷	تاثیر تنش‌های برجا	۹-۷-۴
۶۸	تاثیرات ناشی از مدول بالک و فشار منفذی سیال	۱۰-۷-۴
۶۹	بازشدگی برجا و باقیمانده درزه	۱۱-۷-۴

۷۰	زاویه اصطکاک داخلی و اتساع درزه	۱۲-۷-۴
۷۱	فصل پنجم: زمین شناسی و پارامترهای ژئومکانیکی ساختگاه سد سردشت	-۵
۷۱	مقدمه	۱-۵
۷۲	زمین شناسی مهندسی منطقه سردشت	۲-۵
۷۲	زمین ریخت شناسی	۱-۲-۵
۷۷	سنگ چینه شناسی	۲-۲-۵
۷۹	زمین شناسی ساختمانی	۳-۲-۵
۸۱	هیدروژئولوژی	۴-۲-۵
۸۱	یافته های ژئوتکنیکی	۵-۲-۵
۸۵	تعیین پارامترهای ژئومکانیکی	۳-۵
۸۵	ارزیابی توده سنگ براساس طبقه بندی مهندسی	۱-۳-۵
۹۳	برآورد پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ	۲-۳-۵
۹۹	بررسی پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ پی با در نظر گرفتن فولیاسیون	۳-۳-۵
۱۰۸	فصل ششم: مدل سازی هیدرومکانیکی ساختگاه سد سردشت با استفاده از روش المان مجزا	-۶
۱۰۸	مقدمه	۱-۶
۱۰۹	روش ترسیمی داری	۱-۱-۶
۱۱۳	روش عددی	۲-۱-۶
۱۱۶	تحلیل هیدرومکانیکی پی و بدنه سد	۲-۶
۱۱۸	مدل هندسی مقطع ۱-۱	۱-۲-۶
۱۲۷	مدل هندسی مقطع ۴-۴	۲-۲-۶
۱۳۶	مدل هندسی مقطع ۷-۷	۳-۲-۶
۱۴۶	مدل هندسی مقطع ۱۲-۱۲	۴-۲-۶
۱۵۶	بحث روی نتایج	۳-۶
۱۵۸	فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادها	-۷
۱۵۹	منابع	



## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۶	شکل ۱-۲: جریان در محیط متخلخل
۷	شکل ۲-۲: مقادیر مربوط به درزه برای محاسبه زبری نسبی
۸	شکل ۳-۲: رژیم های جریان سیال در سنگ
۹	شکل ۴-۲: آستانه نفوذپذیری توده سنگ های درزه دار
۱۰	شکل ۵-۲: تغییرات نفوذپذیری به ازای تغییرات نسبت نرخ جریان به ابعاد محدوده جریان (فاصله داری ناپیوستگی) (نتایج سامانیگو)
۱۰	شکل ۶-۲: تغییرات نفوذپذیری به ازای تغییرات نسبت نرخ جریان به ابعاد محدوده جریان (فاصله داری ناپیوستگی) (نتایج لانگ و ویدرسپون)
۱۲	شکل ۷-۲: گروه شکستگی های معادل. (الف) وضعیت درزه ها در یک صفحه؛ (ب) وضعیت صفحات شکستگی بر اساس تئوری تویسم
۱۳	شکل ۸-۲: توده سنگ ایده ال سازی شده در فرض محاسبه تانسور نفوذپذیری با رابطه تویسم
۱۵	شکل ۹-۲: مشخصات بازشدگی مکانیکی
۱۶	شکل ۱۰-۲: مدل توده سنگ ایده ال سازی شده
۱۸	شکل ۱۱-۲: دو نمونه از رفتار بسته شدن درزه تحت تنش
۱۹	شکل ۱۲-۲: داده های حاصل از آزمایش از بودت و براون
۲۰	شکل ۱۳-۲: رفتار برشی تک درزه
۲۱	شکل ۱۴-۲: تنش - جابجایی در یک درزه منفرد
۲۲	شکل ۱۵-۲: جهت داری دسته درزه در دو سیستم جهانی و منطبق بر سطح درزه
۲۳	شکل ۱۶-۲: جابجایی قائم در نمونه گرانیته در دو سیکل بارگذاری
۲۴	شکل ۱۷-۲: رابطه بین جابجایی و تنش فشاری و برشی در یک ناپیوستگی منفرد
۲۵	شکل ۱۸-۲: تغییر شکل در سنگ دارای درزه های افقی
۲۷	شکل ۱۹-۲: نشست از توده سنگ دارای درزه های افقی
۲۹	شکل ۲۰-۲: تاثیر متقابل هیدرومکانیکی در یک توده سنگ ایده ال سازی شده
۳۰	شکل ۲۱-۲: تغییر در بازشدگی با بار قائم
۳۱	شکل ۲۲-۲: تغییر در نفوذپذیری مدل در جهات افقی
۳۱	شکل ۲۳-۲: تغییر در نفوذپذیری تحت بار متغیر با نرخ ثابت
۳۲	شکل ۲۴-۲: تغییر در مسیرهای جریان تحت تنشهای متغیر با نرخ ثابت
۳۳	شکل ۲۵-۲: تغییر در مسیرهای جریان تحت تنشهای متغیر با نرخ متغیر
۳۴	شکل ۲۶-۲: نمودارهای تغییر نفوذپذیری در هر دو حالت الاستیک و پلاستیک (خطوط نقطه چین مربوط به شرایط بسته شدگی ناشی از بار قائم و خطوط ممتد حالت اتساع برشی است)

- شکل ۲-۲۷: تغییر در نفوذپذیری تحت بار متغیر با نرخ متغیر ۳۵
- شکل ۳-۱: مقایسه سطح مرطوب قبل و بعد از تقویت (مدل ۱ و مدل ۶) در سد FENGMAN ۴۲
- شکل ۳-۲: مقایسه سطح مرطوب قبل و بعد از تقویت (مدل ۱ و مدل ۷) در سد FENGMAN ۴۲
- شکل ۴-۱: مفهوم سطح معرف المان و ناختمگونی در سطح درزه ۵۲
- شکل ۴-۲: مدل سازی سختی قائم و برشی در سطح درزه ۵۵
- شکل ۴-۳: ارتباط بین بازشدگی هیدرولیکی و فشار موثر ۵۵
- شکل ۴-۴: صفحات جریان به عنوان توابعی از چگونگی قرارگیری بلوک های صلب ۵۶
- شکل ۴-۵: لوله های جریان به عنوان ساختارهای وابسته به صفحات جریان ۵۶
- شکل ۴-۶: المانهای تشکیل شده در شبکه جریان سیال در توده سنگ ۵۷
- شکل ۴-۷: المانهای موجود در مدل جریان ۵۸
- شکل ۴-۸: چگونگی ارتباط بین المانهای مدل جریان ۵۹
- شکل ۴-۹: هندسه مدل‌های عددی استفاده شده در تخمین نفوذپذیری (الف) مدل ایوارس (ب) مدل شریف زاده کارگر ۶۰
- شکل ۴-۱۰: مقادیر جابجایی برشی و جریان ورودی بر حسب زاویه اصطکاک داخلی در حالت آنالیز هیدرولیکی و هیدرومکانیکی شکل‌های A و B مربوط به KN و KS [۱۲،۲۰] و C و D مربوط به [۶۱،۵، ۳۵،۵] و E و F مربوط به [۲۱۰، ۳۶۰]. ۶۵
- شکل ۴-۱۱: جریان ورودی در برابر سختی عمودی و برشی ۶۵
- شکل ۴-۱۲: جریان ورودی در برابر سختی عمودی و برشی با سختی عمودی ثابت و سختی برشی پایین ۶۶
- 3 GPA/M و سختی برشی بالا 210 GPA/M ۶۶
- شکل ۴-۱۳: مقادیر جریان ورودی بر حسب زاویه اصطکاک داخلی برای زوایای شیب ۸۴.۲ و ۹۰ درجه ۶۶
- شکل ۴-۱۴: مقادیر جریان ورودی بر حسب زاویه اصطکاک داخلی برای جهت شیب ۳۱۵ و ۳۳۷ و ۳۶۰ درجه ۶۷
- شکل ۴-۱۵: مقادیر جریان ورودی بر حسب زاویه اصطکاک داخلی برای تغییرات ۲۰٪ در تنش  $\Sigma_{ZZ}$  ۶۸
- شکل ۴-۱۶: مقادیر جریان ورودی و ماکزیمم جابجایی برشی بر حسب زاویه اصطکاک داخلی برای مقادیر فشار منفذی ۴ و ۵ و ۶ مگاپاسکال ۶۹
- شکل ۴-۱۷: مقادیر جریان ورودی بر حسب بازشدگی های برجا و باقی مانده ۷۰
- شکل ۵-۱: موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به طرح سردشت ۷۱
- شکل ۵-۲: برونزدهای سنگی میان نوارهای سنگریزه ای (TALUS) در تکیه گاه چپ ۷۴
- شکل ۵-۳: منظره عمومی تناوب اسلیت و فیلیت در واحد دگرگونی کرتاسه - نگاه به شمال ۷۸
- شکل ۵-۴: نمودار های تغییرات شاخص کیفی توده سنگ به عمق ۸۵
- شکل ۵-۵: منحنی مقاومت برشی سطوح ناپیوستگی (کلپواژ) ۹۴
- شکل ۵-۶: منحنی معیار شکست هوک و براون توده سنگ تونل انحراف-سنگ سالم ۹۶
- شکل ۵-۷: منحنی معیار شکست هوک و براون برای توده سنگ تونل انحراف-سنگ هوازده ۹۶

- شکل ۵-۸: منحنی معیار شکست هوک و براون توده سنگ مسیر تونل بلند آب بر نیروگاه (روباره ۱۰۰-۰ متر) ۹۷
- شکل ۵-۹: منحنی معیار شکست هوک و براون توده سنگ مسیر تونل بلند آب بر نیروگاه (روباره ۴۰۰-۱۰۰ متر) ۹۷
- شکل ۵-۱۰: منحنی معیار شکست هوک و براون توده سنگ مسیر تونل بلند آب بر نیروگاه (روباره ۶۰۰-۴۰۰ متر) ۹۸
- شکل ۵-۱۱: منحنی معیار شکست هوک و براون توده سنگ مسیر تونل بلند آب بر نیروگاه- سنگ خرد شده و هوازده ۹۸
- شکل ۵-۱۲: پوش دواير موهر برای سنگ پی (زاویه تورق ۲۰-۰ درجه) ۱۰۴
- شکل ۵-۱۳: پوش دواير موهر برای سنگ پی (زاویه تورق ۴۵-۳۰ درجه) ۱۰۵
- شکل ۵-۱۴: پوش دواير موهر برای سنگ پی (زاویه تورق ۹۰-۷۰ درجه) ۱۰۵
- شکل ۵-۱۵: منحنی رفتاری شکست موهر- کولمب توده سنگ پی (زاویه تورق ۲۰-۰ درجه) ۱۰۶
- شکل ۵-۱۶: منحنی رفتاری شکست موهر- کولمب توده سنگ پی (زاویه تورق ۴۵-۳۰ درجه) ۱۰۶
- شکل ۵-۱۷: منحنی رفتاری شکست موهر- کولمب توده سنگ پی (زاویه تورق ۹۰-۷۰ درجه) ۱۰۷
- شکل ۶-۱: محور سد و موقعیت مقاطع مختلف (عمود بر محور سد) به منظور محاسبه جریان نشت آب ۱۰۸
- شکل ۶-۲: نمایش خطوط جریان و پتانسیل با استفاده از برنامه نویسی متلب در مقاطع مختلف ۱۱۲
- شکل ۶-۳: مدل هندسی مقطع ۱-۱ در تکیه گاه چپ ۱۱۸
- شکل ۶-۴: مش بندی مقطع ۱-۱ در تکیه گاه چپ ۱۱۹
- شکل ۶-۵: نقاط مورد نظر برای تاریخچه جابجایی مقطع ۱-۱ در تکیه گاه چپ ۱۱۹
- شکل ۶-۶: تاریخچه جابجایی مقطع ۱-۱ در فیلتر، پی و بدنه سد ۱۲۰
- شکل ۶-۷: تنش برجا مقطع ۱-۱ در فیلتر، پی و بدنه سد ۱۲۱
- شکل ۶-۸: بردارهای جابجایی مقطع ۱-۱ در فیلتر، پی و بدنه سد ۱۲۱
- شکل ۶-۹: کنتور جابجایی در جهت X مقطع ۱-۱ ۱۲۲
- شکل ۶-۱۰: کنتور جابجایی در جهت Y مقطع ۱-۱ ۱۲۲
- شکل ۶-۱۱: جابجایی در جهت X مقطع ۱-۱ ۱۲۳
- شکل ۶-۱۲: جابجایی در جهت Y مقطع ۱-۱ ۱۲۳
- شکل ۶-۱۳: نقاط دلخواه جهت بررسی تاریخچه فشار منفذی مقطع ۱-۱ ۱۲۴
- شکل ۶-۱۴: تاریخچه فشار منفذی مقطع ۱-۱ در نقاط انتخاب شده ۱۲۴
- شکل ۶-۱۵: فشار منفذی مقطع ۱-۱ ۱۲۵
- شکل ۶-۱۶: جهت جریان با سه بزرگنمایی مختلف: (الف) بدنه، (ب) پی، (ج) هسته ۱۲۷
- شکل ۶-۱۷: مدل هندسی مقطع ۴-۴ در تکیه گاه چپ ۱۲۸
- شکل ۶-۱۸: نوع مواد مقطع ۴-۴ ۱۲۸
- شکل ۶-۱۹: نقاط مورد نظر جهت بررسی تاریخچه جابجایی مقطع ۴-۴ ۱۲۹
- شکل ۶-۲۰: تاریخچه جابجایی مقطع ۴-۴ در پی، هسته و بدنه سد ۱۲۹
- شکل ۶-۲۱: توزیع تنش برجا مقطع ۴-۴ در هسته و پی سد ۱۳۰
- شکل ۶-۲۲: بردارهای جابجایی مقطع ۴-۴ ۱۳۱

۱۳۱	شکل ۶-۲۳: کنتور جابجایی در جهت X مقطع ۴-۴
۱۳۱	شکل ۶-۲۴: کنتور جابجایی در جهت Y مقطع ۴-۴
۱۳۲	شکل ۶-۲۵: جابجایی در جهت X مقطع ۴-۴
۱۳۲	شکل ۶-۲۶: جابجایی در جهت Y مقطع ۴-۴
۱۳۳	شکل ۶-۲۷: نقاط دلخواه جهت بررسی تاریخچه فشار منفذی مقطع ۴-۴
۱۳۳	شکل ۶-۲۸: تاریخچه فشار منفذی مقطع ۴-۴
۱۳۴	شکل ۶-۲۹: توزیع فشار منفذی مقطع ۴-۴
۱۳۶	شکل ۶-۳۰: جهت جریان با سه بزرگنمایی مختلف: (الف) بدنه، (ب) پی، (ج) هسته
۱۳۶	شکل ۶-۳۱: مدل هندسی مقطع ۷-۷ در بستر سد
۱۳۷	شکل ۶-۳۲: مش بندی مقطع ۷-۷ در بستر سد
۱۳۷	شکل ۶-۳۳: نوع مواد مقطع ۷-۷
۱۳۸	شکل ۶-۳۴: نقاط مورد نظر جهت بررسی تاریخچه جابجایی مقطع ۷-۷
۱۳۸	شکل ۶-۳۵: تاریخچه جابجایی مقطع ۷-۷
۱۳۹	شکل ۶-۳۶: تاریخچه جابجایی مقطع ۷-۷
۱۳۹	شکل ۶-۳۷: تنش برجا مقطع ۷-۷
۱۴۰	شکل ۶-۳۸: بردارهای جابجایی مقطع ۷-۷ در هسته رسی
۱۴۰	شکل ۶-۳۹: کنتور جابجایی در جهت X مقطع ۷-۷
۱۴۱	شکل ۶-۴۰: کنتور جابجایی در جهت Y مقطع ۷-۷
۱۴۱	شکل ۶-۴۱: جابجایی در جهت X مقطع ۷-۷
۱۴۲	شکل ۶-۴۲: جابجایی در جهت Y مقطع ۷-۷
۱۴۳	شکل ۶-۴۳: نقاط دلخواه جهت بررسی تاریخچه فشار منفذی مقطع ۷-۷
۱۴۳	شکل ۶-۴۴: تاریخچه فشار منفذی مقطع ۷-۷
۱۴۴	شکل ۶-۴۵: فشار منفذی مقطع ۷-۷
۱۴۶	شکل ۶-۴۶: جهت جریان با سه بزرگنمایی مختلف: (الف) بدنه، (ب) پی، (ج) هسته
۱۴۶	شکل ۶-۴۷: مدل هندسی مقطع ۱۲-۱۲ در تکیه گاه راست
۱۴۷	شکل ۶-۴۸: مش بندی مقطع ۱۲-۱۲ در تکیه گاه راست
۱۴۷	شکل ۶-۴۹: نوع مواد مختلف مقطع ۱۲-۱۲
۱۴۸	شکل ۶-۵۰: نقاط مورد نظر جهت بررسی تاریخچه جابجایی مقطع ۱۲-۱۲
۱۴۸	شکل ۶-۵۱: تاریخچه جابجایی مقطع ۱۲-۱۲
۱۴۹	شکل ۶-۵۲: تاریخچه جابجایی مقطع ۱۲-۱۲
۱۴۹	شکل ۶-۵۳: تنش برجا مقطع ۱۲-۱۲
۱۵۰	شکل ۶-۵۴: بردارهای جابجایی مقطع ۱۲-۱۲

- ۱۵۰ شکل ۵۵-۶: کنتور جابجایی در جهت X مقطع ۱۲-۱۲
- ۱۵۱ شکل ۵۶-۶: کنتور جابجایی در جهت Y مقطع ۱۲-۱۲
- ۱۵۱ شکل ۵۷-۶: جابجایی در جهت X مقطع ۱۲-۱۲
- ۱۵۲ شکل ۵۸-۶: جابجایی در جهت Y مقطع ۱۲-۱۲
- ۱۵۳ شکل ۵۹-۶: نقاط دلخواه جهت بررسی تاریخچه فشار منفذی مقطع ۱۲-۱۲
- ۱۵۳ شکل ۶۰-۶: تاریخچه فشار منفذی مقطع ۱۲-۱۲
- ۱۵۴ شکل ۶۱-۶: فشار منفذی مقطع ۱۲-۱۲
- ۱۵۶ شکل ۶۲-۶: جهت جریان با سه بزرگنمایی مختلف: (الف) بدنه، (ب) هسته، (ج) پی
- ۱۵۷ شکل ۶۳-۶: نتایج جریان نشت آب از پی و بدنه سد سردشت با استفاده از روش های تحلیلی و عددی.

## فهرست جدول ها

صفحه	عنوان
۷	جدول ۱-۲: معادلات و ضریب A برای هدایت های هیدرولیکی معادل در درزه
۴۳	جدول ۱-۳: مقایسه نقطه مشاهده سطح مرطوب قبل و بعد از تقویت (مدل ۱، مدل ۵، مدل ۶ و مدل ۷)
۴۸	جدول ۲-۳: میزان فرار آب قبل و بعد از سیستم آب بندی در سد اعلی دولت
۶۳	جدول ۱-۴: پارامترهای ژئومکانیکی مورد استفاده در مدل ایوارس
۸۰	جدول ۱-۵: ویژگی سیستم های ناپیوستگی در تکیه گاه راست ساختگاه سد سردشت
۸۰	جدول ۲-۵: ویژگی سیستم های ناپیوستگی در تکیه گاه راست ساختگاه سد سردشت
۸۲	جدول ۳-۵: موقعیت گمانه های اکتشافی مطالعاتی طرح سردشت
۸۶	جدول ۴-۵: امتیاز طبقه بندی RMR برای توده سنگهای مسیر تونلهای انحراف
۸۷	جدول ۵-۵: میزان کیفیت GSI توده سنگ مسیر تونلهای انحراف
۸۸	جدول ۶-۵: خصوصیات توده سنگ دگرگون شده دارای شیبستزیتته براساس شرایط ناپیوستگی ها و فولیاسیون موجود در آن (ترازمن، ۱۹۹۹) - تونل انحراف
۸۹	جدول ۷-۵: امتیاز طبقه بندی RMR برای توده سنگهای تونل آب بر
۸۹	جدول ۸-۵: میزان کیفیت GSI توده سنگ مسیر تونل بلند
۹۰	جدول ۹-۵: خصوصیات توده سنگ دگرگون شده دارای شیبستزیتته براساس شرایط ناپیوستگی ها و فولیاسیون موجود در آن (ترازمن، ۱۹۹۹) - مسیر تونل بلند آب بر
۹۱	جدول ۱۰-۵: امتیاز طبقه بندی RMR برای توده سنگهای مسیر سرریز و نیروگاه
۹۱	جدول ۱۱-۵: میزان کیفیت GSI توده سنگ مسیر سرریز و نیروگاه
۹۱	جدول ۱۲-۵: ثابت هوک و براون برای توده سنگ ناحیه سیستم تخلیه سیلاب و نیروگاه
۹۲	جدول ۱۳-۵: امتیاز طبقه بندی RMR برای توده سنگهای پی سد
۹۲	جدول ۱۴-۵: میزان کیفیت GSI توده سنگ پی سد
۹۳	جدول ۱۵-۵: خصوصیات توده سنگ دگرگون شده دارای شیبستزیتته براساس شرایط ناپیوستگی ها و فولیاسیون موجود در آن (ترازمن، ۱۹۹۹) - پی سد
۹۴	جدول ۱۶-۵: پارامترهای مقاومت برشی سطوح ناپیوستگی
۹۵	جدول ۱۷-۵: پارامترهای مقاومت برشی توده سنگ مسیر تونل آب بر
۹۵	جدول ۱۸-۵: پارامترهای مقاومت برشی توده سنگ مسیر سرریز و نیروگاه
۹۵	جدول ۱۹-۵: پارامترهای مقاومت برشی توده سنگ تونل انحراف - سنگ سالم
۹۵	جدول ۲۰-۵: پارامترهای مقاومت برشی توده سنگ تونل انحراف - سنگ هوازده
۹۹	جدول ۲۱-۵: پارامترهای تغییر شکل پذیری توده سنگ مسیر تونل آب بر نیروگاه
۹۹	جدول ۲۲-۵: پارامترهای تغییر شکل پذیری توده سنگ نیروگاه و مسیر سرریز
۹۹	جدول ۲۳-۵: پارامترهای تغییر شکل پذیری توده سنگ تونل انحراف

۱۰۰	جدول ۵-۲۴: نتایج آزمایش تعیین وزن مخصوص (KN/M3)
۱۰۰	جدول ۵-۲۵: نتایج آزمایش تخلخل
۱۰۱	جدول ۵-۲۶: دوام به وارفتگی توده سنگ
۱۰۱	جدول ۵-۲۷: نتایج آزمایش مقاومت تک محوری در حالت اشباع
۱۰۲	جدول ۵-۲۸: خلاصه نتایج آزمایش مقاومت فشاری با در نظر گرفتن تاثیر جهت یافتگی
۱۰۳	جدول ۵-۲۹: نتایج آزمایشهای سه محوری نمونه سنگ بکر پی سد سردشت
۱۰۴	جدول ۵-۳۰: پارامترهای ثابت سنگ بکر در موقعیت پی
۱۰۷	جدول ۵-۳۱: پارامترهای تغییر شکل پذیری توده سنگ پی
۱۱۳	جدول ۶-۱: مشخصات پارامترهای هیدروژئولوژی و میزان جریان نشت آب از پی و بدنه سد سردشت
۱۱۷	جدول ۶-۲: مشخصات هندسی درزه های هسته و بدنه سد
۱۱۸	جدول ۶-۳: ویژگی های ژئومکانیکی مواد
۱۵۶	جدول ۶-۴: نتایج حاصل از مدلسازی در مقاطع چهارگانه

## ۱- فصل اول: مقدمه

### ۱-۱- کلیات

با پیشرفت چشمگیر صنعت و افزایش روز افزون نیاز بشر به آبهای شیرین یکی از گزینه های مناسب برای دست یابی به این منابع مهار آبهای سطحی با احداث سد است. عوامل زیادی در طراحی یک سد موثر است که از مهمترین آنها نفوذپذیری ساختگاه آن می باشد. برای بررسی نفوذپذیری و در نتیجه عوامل موثر در نشت یک ساختگاه به مجموعه ای از مطالعات هیدروژئولوژیکی و هیدرومکانیکی نیاز است که این مطالعات در محل احداث سد انجام می گیرد و شامل اطلاعات و شناخت صحیح از سیستم آبهای زیرزمینی و بررسی اطلاعات زمین شناسی منطقه است. نشت در پی سد باعث از دست رفتن آب، بروز فشار بالا برنده و به خطر انداختن پایداری سد می شود. نظر به اهمیت نشت و بالا بودن خطرات ناشی از آن آب بندی سد نیز به همان اندازه مهم است. از راههای کنترل نشت در ساختار سد احداث پرده آب بند، دیوار آب بند، چال زهکشی، پتوی رسی و غیره است. شناسایی صحیح وضعیت زمین شناسی، نفوذپذیری و وضعیت هیدرولیکی منطقه از مهمترین مسائل در آب بندی و کنترل نشت است.

### ۱-۲- هدف و ضرورت انجام پروژه

آنالیز نشت و آب بندی پی و تکیه گاه ها یکی از مراحل اساسی و ضروری در طراحی سدها است و در بسیاری از موارد احداث سد را از نظر اقتصادی و تحلیل پایداری غیر قابل توجه می کند. در برآورد میزان نشت خصوصیات ساختگاه (نوع سنگ، میزان دوام، قابلیت انحلال، هوازگی و غیره) و توجه به وضعیت درزه داری به علت قابلیت گذردهی بالای جریان از آن در مقایسه با تخلخل بین دانه های ماده سنگ بسیار حائز اهمیت است. از طرفی میزان گذردهی توده سنگ به دلیل تغییراتی که در بازشدگی درزه ها ایجاد می شود بسیار تاثیر پذیر از تنش های موثر وارد بر آن است. ساختگاه سد در حین احداث و پس از آبگیری دستخوش تغییرات زیادی در تنش های موثر وارد بر آن می شود. بنابراین بررسی رفتار هیدرومکانیکی در برآورد میزان نشت از ساختگاه از اهمیت ویژه ای برخوردار است. از طرفی برآورد میزان نشت از توده سنگ به سبب ساختار پیچیده ناشی از وجود درزه در مقیاس بزرگ با روش های تحلیل و محاسبات دستی بسیار وقت گیر و چه بسا غیر قابل انجام است.



در این بررسی به کمک مدل سازی عددی روش المان مجزا و نرم افزار UDEC تخمینی از وضعیت نشست با در نظر گرفتن رفتار متقابل هیدرومکانیک توده سنگ در پی سنگ سد سردشت انجام شده است. با توجه به وارد شدن درزه در ساختار مدل و در نظر گرفتن تاثیر توامان تنش-نفوذپذیری شرایط مدل نزدیکی بیشتری به شرایط طبیعی ساختگاه نسبت به روش های مرسوم مدل سازی به روش المان پیوسته دارد.

این تحقیق در ۷ فصل تنظیم شده است. در فصل حاضر کلیات مسأله و ضرورت انجام تحقیق بیان شده است. فصل دوم شامل مفاهیم تنش و جریان و قوانین حاکم بر آن بطور کامل تفسیر شده است. در فصل سوم مطالعات پیشین در زمینه مدلسازی های عددی و مطالعات میدانی در سدهای مختلف ارائه شده است. در فصل چهارم مبانی مدلسازی اندرکنش هیدرومکانیکی توده سنگ با استفاده از روش المان مجزا و در فصل پنجم زمین شناسی و پارامترهای ژئومکانیکی ساختگاه سد سردشت شرح داده شده است. در فصل ششم مدلسازی هیدرومکانیکی ساختگاه سد سردشت با استفاده از نرم افزار UDEC تفسیر و در فصل آخر نتیجه گیری و پیشنهادها ذکر شده است.

## ۲- فصل دوم: مفاهیم تنش و جریان

### ۲-۱- مقدمه

در توده سنگ درزه دار تجزیه و تحلیل جریان آب زیرزمینی یکی از شرایط اولیه پایداری سازه های سنگی زیرزمینی یا سطحی است. مسائلی که باید از طریق تعیین رفتار جریان در داخل سنگهای درزه دار حل شوند، نه تنها شامل پایداری سازه های سنگی بلکه سایر انواع حوزه های مهندسی از قبیل انرژی زمین گرمایی یا بهره برداری از مخازن نفت خام نیز هستند. تحقیقات مکانیک سنگی انجام شده به منظور تشخیص شرایط آب شناسی سنگهای شکسته می تواند برای تجزیه و تحلیل حرکت آب در مهندسی محیط های سنگی، برای شکست هیدرولیکی سنگ با تزریق آب سرد، سیستم های زمین گرمایی یا بهره برداری از مخازن نفت خام مورد استفاده قرار گیرد.

الگوهای جریان آب زیرزمینی در محیط های سنگی از نظر عمق سازه های زیرزمینی بدلیل اختلاف در تنشهای موثر و فشارهای آب در درزه ها متفاوت است. فرضیات متداول برای تجزیه و تحلیل های جریان آب زیرزمینی در شیب های سنگی عبارتند از:

۱- جریان فقط از میان ناپیوستگی ها صورت می گیرد و نفوذپذیری ماده سنگ ناچیز است.

۲- حرکت جریان خطی است و شرایط جریان مغشوش فقط در مقادیر بازشدگی زیاد و گرا دیانهای هیدرولیکی بالا اتفاق می افتد.

در هر حال برای مسائل خاص جریان آب زیرزمینی این دو فرضیه می تواند با در نظر گرفتن نتایج حاصل از کارهای علمی جدید در تجزیه و تحلیل های جریان آب زیرزمینی در سازه های سنگی عمیق قابل تغییر باشد.

جریان آب از طریق شکافهای ریز در ماده سنگ و جریانهای مغشوش در شکافهای با سطوح زبر دو مقوله متفاوت است که در بررسی نفوذپذیری توده سنگ و جریان آب زیرزمینی مطرح می شود. مدل های مختلف شبکه درزه برای تجزیه و تحلیل های جریان آب زیرزمینی در توده سنگ توسعه یافته اند. هدایت هیدرولیکی بسته به تغییرات بازشدگی و طول اثر درزه تغییر می کند. مدل های توأم به طور همزمان مسائل مکانیکی و جریان را با استفاده از طبیعت متغیر شکاف درزه ها حل می نماید. در این فصل برای درک بهتر مسائل جریان در توده سنگ

ابتدا به طور مختصر روابط جریان سیال در محیط متخلخل سپس یک ناپیوستگی بیان شده و در ادامه جریان در سیستم ناپیوستگی ها بررسی می شود.

## ۲-۲- جریان آب در محیط متخلخل

مسأله جریان آب از میان یک توده سنگ در بعضی شرایط خاص سنگ متجانس می تواند به عنوان نشت از طریق محیط خلل و فرج مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. در این حالت منشأ نشت آب می تواند از نوع محصور یا نامحصور باشد. اگر از چرخش یا تغییر شکل های اجزای سیال در مدت حرکت صرف نظر شود جریان آب در این محیط را می توان به صورت جریان غیر چرخشی فرض کرد. فرمول جریان نشتی بر پایه قانون دارسی بیان می شود که بر اساس آن سرعت جریان متناسب با شیب هیدرولیکی در جهت جریان است و مقدار ثابت تناسب به عنوان ضریب نفوذپذیری تعبیر می شود. بنابراین قانون دارسی می تواند به صورت رابطه (۱-۲) بیان شود که در آن  $x$ ،  $y$  و  $z$  محورهای اصلی نفوذپذیری هستند.

$$q_x = v_x = u = -k_x \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (1-2)$$

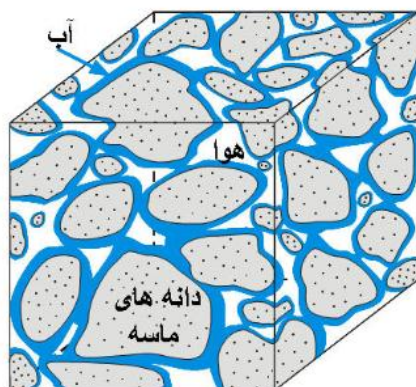
$$q_y = v_y = v = -k_y \frac{\partial \phi}{\partial y}$$

$$q_z = v_z = w = -k_z \frac{\partial \phi}{\partial z}$$

در این روابط  $u$ ،  $v$  و  $w$  سرعت نشت نفوذ و  $k_x$ ،  $k_y$  و  $k_z$  ضرایب نفوذپذیری در جهت  $x$  بر حسب متر بر ثانیه،  $y$  و  $z$  و  $\phi$  پتانسیل هیدرولیکی یا ارتفاع پیزومتریک بر حسب متر است. بنابراین پتانسیل هیدرولیکی می تواند به صورت رابطه زیر بیان می شود:

$$\phi(x, y, z) = \frac{P(x, y, z)}{\gamma_w} + Z(x, y, z) \quad (2-2)$$

که  $P$  فشار هیدرولیکی بر حسب کیلوگرم بر متر مربع،  $\gamma_w$  وزن حجمی آب بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب و  $Z$  ارتفاع آب بر حسب متر است.



شکل ۲-۱: جریان در محیط متخلخل [۱]

معادله داری برای یک جریان با مقادیر اعداد رینولدز بسیار کوچک ( $Re < 100$ ) و رفتار جریان خطی معتبر است [۱].

## ۲-۳- هدایت هیدرولیکی یک ناپیوستگی منفرد

قانون جریان در یک ناپیوستگی منفرد برای جریان خطی و مغشوش به ترتیب با روابط ۳-۲ و ۴-۲ بیان می شود:

$$q = \frac{Q}{A} = v = k_f \cdot J_f \quad (3-2)$$

$$q' = \frac{Q'}{A} = v' = k'_f \cdot J_f \cdot \alpha \quad (4-2)$$

که در آن  $v$  و  $v'$  سرعت متوسط جریان بر حسب متر بر ثانیه،  $K_f$  هدایت هیدرولیکی ناپیوستگی در حالت جریان خطی بر حسب متر بر ثانیه،  $K'_f$  هدایت هیدرولیکی در حالت جریان مغشوش بر حسب متر بر ثانیه و  $J_f$  مؤلفه قائم شیب هیدرولیکی بر صفحه ناپیوستگی و  $\alpha$  درجه غیرخطی بودن رفتار جریان است. در حالت جریان کاملاً مغشوش  $\alpha = 0.5$  است [۱]. در مورد جریان از میان ناپیوستگی ها در مقادیر بسیار کم عدد رینولدز ( $Re < 100$ ) انتقال از حالت جریان خطی به حالت جریان مغشوش در حال کاهش است در حالی که زبری نسبی سطح ناپیوستگی افزایش می یابد. عدد رینولدز رابطه نیروهای داخلی و گرانیوی را در بررسی جریان ارائه می کند. هدایت هیدرولیکی ناپیوستگی به مقدار بازشدگی و زبری دیواره ناپیوستگی بستگی دارد. بنابراین پارامتر بدون بعدی بصورت  $R_p = \frac{E}{e}$  (زبری نسبی) معرفی می شود. ناحیه جریان هیدرولیکی به عنوان تابعی از پارامترهای بدون بعد زبری نسبی و عدد رینولدز در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.