

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

رساله‌ی حاضر، حاصل پژوهش‌های نگارنده در دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران گرایش خاک و پی است که در شهریور ماه سال ۱۳۹۱ در دانشکده‌ی فنی و مهندسی دانشگاه یاسوج به راهنمایی جناب آقای دکتر منصور پرویزی و جناب آقای دکتر محمد صدقی اصل و مشاوره‌ی آقای دکتر مهدی زمانی لنجانی از آن دفاع شده است و کلیه‌ی حقوق مادی و معنوی آن متعلق به دانشگاه یاسوج است.



دانشکده فنی مهندسی

گروه عمران

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی عمران گرایش مکانیک خاک و پی

تجزیه و تحلیل سه بعدی شرایط مختلف نشت جریان از سدهای
خاکی و ارائه راه حل مناسب برای کنترل فرار آب از بدنه و پی سد
(مطالعه موردی سد شاه قاسم یاسوج)

اساتید راهنما:

دکتر منصور پرویزی دکتر محمد صدقی اصل

استاد مشاور:

دکتر مهدی زمانی لنجانی

پژوهشگر:

مهدی رشیدی

مردادماه ۱۳۹۱



تجزیه و تحلیل سه بعدی شرایط مختلف نشت جریان از سدهای خاکی و ارائه راه حل مناسب برای کنترل فرار آب از بدنه و پی سد (مطالعه موردی سد شاه قاسم یاسوج)

به وسیله‌ی:

مهدی رشیدی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی عمران خاک و پی

در تاریخ ۱۳۹۱/۰۶/۲۹ توسط هیات داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

- | | |
|------|--|
| امضا | ۱- استاد راهنمای اول: دکتر منصور پرویزی با مرتبه‌ی علمی استادیار |
| امضا | ۲- استاد راهنمای دوم: دکتر محمد صدقی اصل با مرتبه‌ی علمی استادیار |
| امضا | ۳- استاد مشاور: دکتر مهدی زمانی لنجانی با مرتبه علمی استادیار |
| امضا | ۴- استاد داور داخل گروه: دکتر حسین منتصری با مرتبه‌ی علمی استادیار |
| امضا | ۴- استاد داور خارج گروه: دکتر امین فلامکی با مرتبه‌ی علمی استادیار |
| امضا | ۵- مدیر گروه: دکتر حسین منتصری |

شهریور ماه ۱۳۹۱

نام خانوادگی: رشیدی	نام: مهدی
رشته و گرایش: مهندسی عمران - خاک و پی	مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد
تاریخ دفاع: ۹۱/۰۶/۲۹	استاد راهنما: دکتر منصور پرویزی

تجزیه و تحلیل سه بعدی شرایط مختلف نشت جریان از سدهای خاکی و ارائه راه حل مناسب برای کنترل فرار آب از بدنه و پی سد (مطالعه موردی سد شاه قاسم یاسوج)

فرار و نشت آب از پدیده‌های مخربی هستند که بعد از احداث سدهای خاکی می‌تواند ایمنی و پایداری این سازه‌ها را به مخاطره بیندازد. پژوهش‌های متعددی درباره مدل‌سازی عددی جریان‌های نشتی از سدهای خاکی انجام شده است. روش‌های عددی می‌تواند یک ابزار خوب، دقیق و سودمند برای مدل‌سازی پدیده‌های فیزیکی از جمله حرکت و جریان آب درون نهشته‌های متخلخل باشد. بر اساس بازدیدهای صورت گرفته از سد خاکی شاه قاسم واقع در شهرستان بویراحمد، میزان نشت و فرار آب مشاهده شده در چاهک‌های پایین دست آن قابل توجه بوده و بیشتر از حد محاسبه شده در طراحی سد می‌باشد. در این پایان‌نامه برای مدل‌سازی عددی جریان آب نشت یافته از بدنه به سمت پی و جناحین سد شاه قاسم، یک مدل عددی توسعه داده می‌شود. نتایج مدل عددی بعد از ارزیابی اولیه و انجام آزمون‌های لازم برای تدقیق نتایج مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند. ابعاد و هندسه سد خاکی شاه قاسم واقع در شهرستان بویراحمد برای مدل تعریف، و شرایط مرزی مربوطه به نحو مناسب تعیین و به مدل معرفی می‌شوند. بعد از اجرای مدل نتایج مدل برای تدقیق محاسبات و صحت نتایج مورد بررسی قرار گرفته و سپس با داده‌های برداشت شده توسط سیستم ابزار دقیق سد مقایسه می‌شوند. در این مقایسه نقاط ضعف و قوت مدل عددی مشخص شده و تلاش می‌شود که پیش بینی جریان نشتی و فشار بالابر بصورت دقیق صورت پذیرد. در نهایت راهکارهای لازم برای تشخیص مسیر نشت، میزان فرار آب و سایر تمهیدات مربوط به ایمنی سد پیشنهاد می‌شود.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول : مقدمه و ضرورت انجام تحقیق
۱	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- ضرورت‌های انجام تحقیق و اهداف
۴	۳-۱- ساختار پایان‌نامه
	فصل دوم: پیش‌زمینه و سابقه پژوهش
۶	۱-۲- قوانین مرتبط با مسئله نشت
۶	۱-۲- ۱- رابطه برنولی
۸	۲-۱-۲- قانون داریسی
۱۰	۲-۱-۳- سرعت نشت (سرعت واقعی)
۱۲	۲-۲- معادله حاکم بر جریان آب در خاک
۱۸	۳-۲- روش‌های تحلیل نشت آب در خاک
۱۸	۱-۳-۲- روش‌های تحلیلی
۱۸	۲-۳-۲- روش‌های تقریبی
۱۹	۳-۲-۱-۲- مدل‌سازی
۲۰	۳-۲-۲- روش ترسیمی (رسم شبکه جریان)

۲۵	۳-۲-۳-۲- خاک ناهمگن
۲۶	۴-۲-۳-۲- خاک ناهمسان
۲۸	۳-۳-۲- روش‌های عددی
۲۹	۱-۳-۳-۲- روش تفاضل محدود
۳۴	۲-۳-۳-۲- روش المان محدود
۴۲	۳-۳-۳-۲- روش المان مرزی
۴۴	۴-۳-۳-۲- روش المان محدود با مرز مقیاس شده
۴۷	۴-۲- سابقه پژوهش

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۵۲	۱-۳- روش آنالیز
۵۴	۲-۲- معرفی سد شاه‌قاسم
۵۵	۱-۲-۳- مولفه‌های سد
۵۶	۲-۲-۳- مطالعات هواشناسی و هیدرولوژیکی
۵۷	۳-۲-۳- نفوذ پذیری
۵۸	۴-۲-۳- آرایش پیزومترها
۵۹	۳-۳- مشخصات مدل
۶۲	۴-۳- ارزیابی نتایج عددی و داده‌های ابزار دقیق

فصل چهارم: بحث و نتایج

۶۴	۱-۴- بهینه‌سازی المان‌های مدل محاسباتی
----	--

۶۶	۲-۴- محاسبات دبی نشت
۶۹	۳-۴- نتایج
۶۹	۱-۳-۴- مقایسه نتایج داده‌های پیزومتریک و داده‌های مدل عددی در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۱
۷۴	۲-۳-۴- مقایسه نتایج داده‌های پیزومتریک و داده‌های مدل عددی در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۲۵
۷۸	۳-۳-۴- مقایسه نتایج داده‌های پیزومتریک و داده‌های مدل عددی در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۴
۸۳	۴-۳-۴- مقایسه نتایج داده‌های پیزومتریک و داده‌های مدل عددی در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۱۸
۸۷	۵-۳-۴- تحلیل آماری دقت داده‌های مدل
۸۸	۶-۳-۴- مقایسه داده‌های مدل عددی برای حالات مختلف نفوذپذیری پی در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۲۵
۹۱	۷-۳-۴- مقایسه نتایج مدل عددی اولیه با مدل عددی بدون در نظر گرفتن پوسته و فیلتر
۹۵	۸-۳-۴- مقایسه نتایج پیزومتریک و نتایج دوبعدی و سه‌بعدی مدل عددی برای مقطع d در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۱۸

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۹۷	۱-۵- مقدمه
۹۷	۲-۵- نتایج کلی
۹۹	۳-۵- پیشنهادات
۱۰۰	مراجع و منابع

فهرست جدول‌ها

عنوان و شماره

۵۷	جدول ۱-۳: ضرایب نفوذپذیری اجزای سد شاه‌قاسم
۸۶	جدول ۱-۴: درصد خطای نسبی میان نتایج عددی و ابزار دقیق

فهرست شکل‌ها

عنوان

- شکل ۱-۲: حرکت آب داخل حفرات بهم پیوسته خاک ۵
- شکل ۲-۲: جریان ماندگار سیال تراکم‌ناپذیر و غیرلزج ۷
- شکل ۳-۲: شیب هیدرولیکی بین نقاط A و B ۸
- شکل ۴-۲: رابطه بین سرعت جریان و شیب هیدرولیکی برای جریان سیال داخل لوله ۹
- شکل ۵-۲: سطح مقطع حفرات خاک ۱۲
- شکل ۶-۲: المان خاک و جریان عبوری از آن ۱۴
- شکل ۷-۲: مدل کاغذ هادی برای تعیین اثر تغییر ساختار روی جریان و فشار آب ۲۰
- شکل ۸-۲: الف) شبکه‌ی جریان زیر ردیف سپری ب) المان جریان ۲۲
- شکل ۹-۲: جریان آب در مرز بین دو خاک ۲۶
- شکل ۱۰-۲: تبدیل مقطع برای جریان در خاک ناهمسان ۲۸
- شکل ۱۱-۲: گسسته سازی تابع پیوسته $f(x)$ ۳۰
- شکل ۱۲-۲: الف) شبکه‌بندی حوزه با روش تفاضل محدود ب) نقاط وابسته به نقطه (i, j) ۳۰
- شکل ۱۳-۲: شرایط مرزی مختلف در روش تفاضل محدود ۳۲
- شکل ۱۴-۲: خطوط جریان و محاسبه‌ی مقدار نشت از سطح A ۳۳
- شکل ۱۵-۲: مش بندی یک محدوده مستطیلی دارای سوراخ ۳۵
- شکل ۱۶-۲: الف) تجزیه بردار یکه روی مرز ب) مؤلفه های سرعت روی مرز ۳۷
- شکل ۱۷-۲: مقایسه پاسخ های حاصل از روش المان محدود و پاسخ های دقیق ۳۸
- شکل ۱۸-۲: از گوشه مقعر روی تراوش الف) نمای کلی ب) شکل بزرگنمایی شده ۳۹

- شکل ۲-۱۹: مش اصلاح شده برای مسئله دارای گوشه تیز ۳۹
- شکل ۲-۲۰: سیستم خطی شامل دو فنر با سختی های متفاوت ۴۰
- شکل ۲-۲۱ (الف) سیستم دارای شرایط خوب (ب) سیستم دارای شرایط ناچور ۴۱
- شکل ۲-۲۲: مدل سازی یک سد (الف) مدل اصلی (ب) مدل سازی با BEM ۴۳
- شکل ۲-۲۳: مقایسه ی ماتریس های ضرایب حاصل از FEM و BEM ۴۴
- شکل ۲-۲۴: سیستم مختصاتی المان محدود با مرز مقیاس شده در حالت سه بعدی ۴۶
- شکل ۲-۲۵: شبکه مش اجزاء محدود استفاده شده برای هسته رسی سد ۱۵-خرداد ۴۹
- شکل ۲-۲۶: توزیع فشار و نمایش بردارهای جریان نشت در محدوده پی سد شهید عباسپور ۵۰
- شکل ۳-۱: تصویر پنجره مدل عددی استفاده شده ۵۳
- شکل ۳-۲: جانمایی سد شاه قاسم ۵۵
- شکل ۳-۳: مقطع عرضی سد شاه قاسم ۵۶
- شکل ۳-۴: دریاچه سد شاه قاسم ۵۷
- شکل ۳-۵: موقعیت قرار گیری پیزومترها بر روی بدنه سد ۵۸
- شکل ۳-۶: تصویر مدل سه بعدی سد شاه قاسم در نرم افزار Seep3d ۵۹
- شکل ۳-۷: مش بندی سه بعدی مدل عددی مربوط به سد شاه قاسم ۶۰
- شکل ۳-۸: المان ۲۰ گره ای استفاده شده ۶۱
- شکل ۳-۹ (الف) شرایط مرزی مدل عددی در بالادست سد (ب) شرایط مرزی مدل عددی در پایین دست ۶۳
- شکل ۴-۱: تعیین شبکه بهینه برای مدل عددی ۶۶
- شکل ۴-۲: توزیع فشار و نمایش خطوط جریان نشت در محدوده بدنه و پی ۶۷
- شکل ۴-۳: مقایسه نتایج مدل عددی با داده های پیزومترهای قرار گرفته در محور a، ۶۸
- در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۱ ۷۰
- شکل ۴-۴: مقایسه نتایج مدل عددی با داده های پیزومترهای قرار گرفته در محور b، ۶۹

- ۷۱ در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۱
شکل ۴-۵: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور c.
- ۷۲ در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۱
شکل ۴-۶: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور d.
- ۷۳ در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۱
شکل ۴-۷: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور e.
- ۷۳ در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۱
شکل ۴-۸: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور f.
- ۷۴ در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۱
شکل ۴-۹: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور a.
- ۷۵ در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۲۵
شکل ۴-۱۰: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور b.
- ۷۶ در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۲۵
شکل ۴-۱۱: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور c.
- ۷۶ در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۲۵
شکل ۴-۱۲: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور d.
- ۷۷ در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۲۵
شکل ۴-۱۳: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور e.
- ۷۸ در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۲۵
شکل ۴-۱۴: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور a.
- ۷۹ در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۴
شکل ۴-۱۵: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور b.

۷۹	در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۴
	شکل ۴-۱۶: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور c،
۸۰	در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۴
	شکل ۴-۱۷: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور d،
۸۱	در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۴
	شکل ۴-۱۸: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور e،
۸۱	در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۴
	شکل ۴-۱۹: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور f،
۸۲	در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۴
	شکل ۴-۲۰: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور a،
۸۳	در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۱۸
	شکل ۴-۲۱: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور b،
۸۴	در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۱۸
	شکل ۴-۲۲: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور c،
۸۴	در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۱۸
	شکل ۴-۲۳: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور d،
۸۵	در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۱۸
	شکل ۴-۲۴: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور e،
۸۵	در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۱۸
	شکل ۴-۲۵: مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های پیژومترهای قرار گرفته در محور f،
۸۶	در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۱۸
۸۸	شکل ۴-۲۶: نتیجه مقایسه حالت‌های مختلف نفوذپذیری در قسمت پی برای محور a

- شکل ۴-۲۷: نتیجه مقایسه حالت‌های مختلف نفوذپذیری در قسمت پی برای محور b ۸۹
- شکل ۴-۲۸: نتیجه مقایسه حالت‌های مختلف نفوذپذیری در قسمت پی برای محور c ۸۹
- شکل ۴-۲۹: نتیجه مقایسه حالت‌های مختلف نفوذپذیری در قسمت پی برای محور d ۹۰
- شکل ۴-۳۰: نتیجه مقایسه حالت‌های مختلف نفوذپذیری در قسمت پی برای محور e ۹۰
- شکل ۴-۳۱: نتیجه مقایسه حالت‌های مختلف نفوذپذیری در قسمت پی برای محور f ۹۱
- شکل ۴-۳۲: تصویر مدل عددی بدون در نظر گرفتن پوسته و فیلتر ۹۲
- شکل ۴-۳۳: مقایسه نتایج مدل عددی اولیه با مدل عددی بدون در نظر گرفتن پوسته
و فیلتر برای محور a ۹۲
- شکل ۴-۳۴: مقایسه نتایج مدل عددی اولیه با مدل عددی بدون در نظر گرفتن پوسته
و فیلتر برای محور b ۹۳
- شکل ۴-۳۵: مقایسه نتایج مدل عددی اولیه با مدل عددی بدون در نظر گرفتن پوسته
و فیلتر برای محور c ۹۳
- شکل ۴-۳۶: مقایسه نتایج مدل عددی اولیه با مدل عددی بدون در نظر گرفتن پوسته
و فیلتر برای محور d ۹۴
- شکل ۴-۳۷: مقایسه نتایج مدل عددی اولیه با مدل عددی بدون در نظر گرفتن پوسته
و فیلتر برای محور e ۹۴
- شکل ۴-۳۸: مقایسه نتایج پیرومتریک و نتایج دوبعدی و سه‌بعدی مدل عددی ۹۵
- شکل ۴-۳۹: مدل استفاده شده برای حالت دوبعدی مدل عددی ۹۶

فصل اول : مقدمه و ضرورت انجام تحقیق

۱-۱- مقدمه

در کشوری مانند ایران که از مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌گردد، ذخیره آب از جمله اهداف مهم کاربردی و توسعه به شمار می‌رود. با توجه به فصلی بودن نزولات جوی و عدم توزیع مکانی مناسب آن، اهمیت آب مشخص می‌گردد. سدها از جمله سازه‌هایی هستند که به منظور ذخیره آب ساخته می‌شوند، با توجه به اینکه یکی از راه‌های اتلاف آب، نشت^۱ از پی این سازه‌ها می‌باشد، بحث کنترل نشت همواره از دغدغه‌های مهندسی سدساز بوده است. وابستگی زیاد مسائل مرتبط به نشت به عوامل هیدرولیکی، شرایط زمین شناسی سایت مورد بررسی و... سبب پیچیدگی خاصی در این موضوع گردیده است [۱].

به دلیل نشت آب به درون سد، یکسری بار ناشی از زه‌آب در بدنه به وجود می‌آید که ناشی از فشار منفذی آب در خلل و فرج می‌باشد. این بار که به صورت قائم می‌باشد، به طرف بالا بوده و بر خلاف بار وزن بر مقاطع مختلف وارد می‌شود.

نشت از تمام سدها بعنوان پدیده‌ای اجتناب ناپذیر تلقی می‌گردد. مهمترین مساله‌ای که در ارتباط با نشت مطرح می‌باشد این است که نشت در طول چندین سال بعد، اشکالی برای ایمنی سد به وجود نیاورد. دومین مساله آن است که شدت جریان نشت در حد قابل قبولی باشد. اگرچه پایداری یک سد اغلب به عنوان مهمترین هدف طراحی تلقی می‌گردد، معهدا شاید تداوم کنترل نشت به سطح بالایی از تجربه، قضاوت و مهارت نیاز دارد. این موضوع نه فقط برای جسم سد بلکه برای پی و سطح اتصال بین سد، پی و تکیه گاه‌های سد نیز از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. میزان نشت در هر موردی که مطرح باشد باید در ارتباط با شرایط خاص و پارامترهای عملی مربوط به آن، مورد قضاوت و توجیه قرار می‌گیرد.

¹ Seepage

در طرح یک سد خاکی باید در صورت امکان نوع خاک طوری انتخاب شود که اثر زیان‌آور تراوش و نشت آب حذف و یا کاهش داده شود. در محل‌هایی که گرادیان هیدرولیکی زیاد است، ممکن است تراوش منجر به فرسایش و پیدایش مجراهایی در داخل سد شود. این فرسایش در مواردی که خاک به خوبی کوبیده نشده باشد بیشتر است و ممکن است موجب خرابی سد شود. به همین دلیل است که برای کاهش میزان تراوش از یک هسته مرکزی ناتراوا استفاده می‌گردد. عملاً تمام بار آبی ذخیره شده در بالادست در طول هسته از بین می‌رود. در صورتیکه هسته باریک باشد شیب هیدرولیکی قابل ملاحظه‌ای بوجود می‌آید و چنانچه گرادیان هیدرولیکی خروجی از هسته سد قابل ملاحظه باشد خط فرسایش زیادی در فصل مشترک خاک مجاور هسته به وجود می‌آید. برای حفاظت از این خط می‌توان از یک لایه زهکش که بین هسته مرکزی و لایه خاک در پائین دست قرار دارد استفاده نمود.

در واقع می‌توان چنین گفت که چنانچه گرادیان هیدرولیکی در شیب در قسمت پائین دست زیاد شود، ممکن است موجب شسته شدن خاک گردد، بخصوص اگر عمل تراکم به خوبی انجام نشده باشد. این عمل یک پدیده‌ی پیش رونده است. ابتدا ریزترین ذرات شسته می‌شوند. با شسته شدن این ذرات، مقاومت خاک در مقابل جریان کم شده و گرادیان هیدرولیکی افزایش می‌یابد. با افزایش گرادیان هیدرولیکی، ذرات درشت‌تر شسته می‌شوند و به تدریج عمل فرسایش با سرعت بیشتری انجام گرفته و موجب تشکیل مجرای درون سد می‌گردد. به پدیده‌ی تشکیل این مجرا، فرسایش درونی یا پایپینگ^۱ می‌گویند [۱].

زمانیکه مجرای مزبور با پیشروی خود به قسمت بالا دست برسد، آب مستقیماً وارد آن شده و با سرعت زیاد جریان پیدا می‌کند. جریان آب موجب عریض‌تر شدن مجرا می‌گردد در این مرحله سقف مجرا فرو می‌ریزد و شکسته شدن کامل سد به وقوع می‌پیوندد.

در سال ۱۹۶۸ باب و مرنل^۲ لیستی از ۶۰۰ سد که خراب شده‌اند یا حادثه و فاجعه آفرین بوده‌اند را تهیه کرده‌اند. این دو چنین عنوان کرده‌اند که عمده خرابی سدهای خاکی شامل برخورد سطح آزاد نشت با شیب پایین دست سد و یا ایجاد آب شستگی داخلی توسط جریان نشت درون سد می‌باشد. برای نشان دادن اهمیت نیروهای حاصل از جریان آب در خاک، در زیر نمونه‌هایی از موارد تخریب سازه‌ها تحت اثر این نیروها ذکر شده است:

در سال ۱۹۵۳ در جنوب غربی هلند، تعداد زیادی از سدهای کوچک به دلیل سرریز شدن آب تخریب شدند. در این سدهای کوچک، نیروهای حاصل از جریان آب باعث لغزش شیب شده و به این ترتیب توانایی سد در نگه داری آب از بین رفته و در مدت کوتاهی زمین‌های پایین دست در آب فرو رفتند.

^۱ piping
^۲ Bob and Mernel

تخریب سد تیتان^۱ در آمریکا به دلیل نفوذ آب در مصالح سد و همچنین تخریب سدی در ولز به دلیل بارش شدید باران و افزایش ناگهانی سطح مخزن، از دیگر مثال‌هایی است که اهمیت بررسی نشت و نیروهای وابسته به آن را آشکار می‌سازد.

۱-۲- ضرورت‌های انجام تحقیق و اهداف

بر اساس بازدیدهای صورت‌گرفته از سد خاکی شاه‌قاسم، میزان نشت و فرار آب مشاهده شده در چاهک‌های پایین‌دست آن قابل توجه بوده و بیشتر از حد محاسبه شده در طراحی سد می‌باشد. از آنجا که مصالح سد خاکی ناهمگن می‌باشند بنابراین بالا رفتن فشار منفذی و فشار بالابر در بدنه و قسمت پایین‌دست سد می‌تواند یک هشدار جدی برای ایمنی سد تلقی شود. چرا که مصالح خاکی در اثر بالا رفتن سرعت جریان و افزایش گرادیان ممکن است در اثر پدیده فرسایش درونی شستشو یافته و سرانجام برای پایداری سد تهدیدی جدی ایجاد گردد.

رفتار و روند جریان آب درون بدنه سد باید بطور مستمر و مداوم مورد پایش قرار گیرند و یکی از راه‌های آگاهی از اینکه ایمنی سد در چه مرحله‌ای است، استفاده از مدل‌های ریاضی و عددی است که بسیار مفید و سودمند می‌باشند. بعد از اجرای مدل نتایج مدل برای تدقیق محاسبات و صحت نتایج مورد بررسی قرار گرفته و سپس با داده‌های برداشت شده توسط سیستم ابزار دقیق سد مقایسه می‌شوند. در این مقایسه نقاط ضعف و قوت مدل عددی مشخص شده و تلاش می‌شود که پیش‌بینی جریان نشتی و فشار بالابر بصورت دقیق صورت پذیرد. در نهایت راهکارهای لازم برای تشخیص مسیر نشت، میزان فرار آب و سایر تمهیدات مربوط به ایمنی سد پیشنهاد می‌شود.

بنابراین در این تحقیق با کمک مدل عددی، جریان نشتی از درون بدنه و پی سد خاکی شاه‌قاسم برای شرایط مختلف هیدرولیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد و نتایج حاصله با داده‌های پی‌زومتریک ثبت شده توسط ابزار دقیق نصب شده در بدنه سد، مقایسه و تفسیر می‌شود.

۱-۳- اهداف پایان‌نامه:

- مدلسازی عددی جریان نشتی از بدنه و پی سد خاکی شاه‌قاسم
- مقایسه نتایج مدل عددی با داده‌های ابزار دقیق سد و پایش رفتار سد

^۱ Teton

۱-۴- ساختار پایان نامه

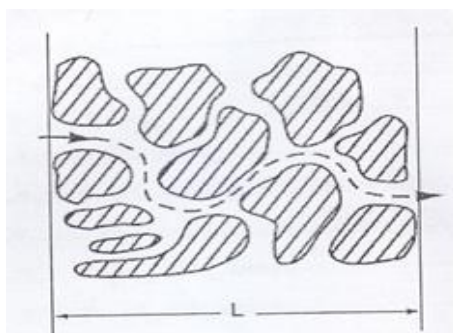
کلیه‌ی مطالب این پایان نامه در پنج فصل بصورت کلی ارائه خواهند شد که مباحث کلیدی هر یک از این پنج فصل به اختصار در زیر ارائه شده است:

۱. فصل اول: در این فصل ابتدا مقدمه‌ای در مورد نشت به اختصار ذکر می‌گردد، سپس به اهمیت نشت در سدهای خاکی پرداخته و در نهایت دلایل بررسی نشت در سد شاه‌قاسم توضیح داده می‌شود.
۲. فصل دوم: در این فصل قوانین مرتبط با مسئله نشت و معادله حاکم بر جریان آب در خاک ذکر شده و در ادامه بررسی نتایج سایر محققین در زمینه نشت در سدهای خاکی ارائه خواهند شد.
۳. فصل سوم: روش‌های تحلیل نشت آب در خاک از جمله روش‌های تحلیلی و تقریبی به تفصیل در این فصل شرح داده می‌شود و در ادامه روش آنالیز مورد استفاده در مدل عددی شرح داده می‌شود. در ادامه مشخصات پروژه از جمله مولفه‌های سد، مطالعات هواشناسی، مطالعات هیدرولوژیکی، نفوذپذیری و جانمایی پی‌زومترها بر روی بدنه سد آورده می‌شود.
۴. فصل چهارم: در این فصل مشخصات مدلی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته شرح داده می‌شود و در ادامه نتایج حاصل از یافته‌ها آورده شده است.
۵. فصل پنجم: در فصل آخر نتایج کلی حاصل شده از تحقیق به همراه پیشنهاداتی برای سایر پژوهشگران ارائه خواهد شد.

فصل دوم: پیش‌زمینه و سابقه پژوهش

تاکنون محققین زیادی بر پدیده نشت، چه از درون بدنه و چه از پی سدها، مطالعاتی انجام داده‌اند و به نتایج خوبی دست یافته‌اند. مطالعات انجام شده عمدتاً بر اساس تحلیل ریاضی^۱ و آنالیز عددی^۲ مسائل نشت استوار بوده است. اولین مطالعات انجام شده در مورد بهینه‌سازی جریان نشتی از پی سد-های خاکی توسط ترزاقی^۳ انجام گرفته است. وی با آنالیز نشت حاصله از بدنه و پی سدهای خاکی با توجه به ضریب نفوذ پذیری مصالح متشکله نتایج خویش را ارائه داد. نتیجه کار ایشان به این صورت بود که هر چه نسبت نفوذ پذیری هسته نسبت به پی و پوسته کمتر باشد، نشت حاصله کاهش می‌یابد، وی نیز با در نظر گرفتن عمق‌های مختلفی از پرده آب‌بند^۴ واقع شده در پی سد، به آنالیز جریان نشت از پوسته و پی پرداخت. آنالیز ایشان بر اساس روش شبکه جریان^۵ ترسیم شده برای هر حالت، انجام گرفته شده بود.

الگوی کلی حرکت آب در خاک بوسیله شکل ۱-۲، نشان داده می‌شود.



شکل ۱-۲: حرکت آب داخل حفرات بهم پیوسته خاک [۴۰]

^۱ *Mathematical Analysis*

^۲ *Numerical Analysis*

^۳ *Terzaghi*

^۴ *Sheet Pile*

^۵ *Flow Net*