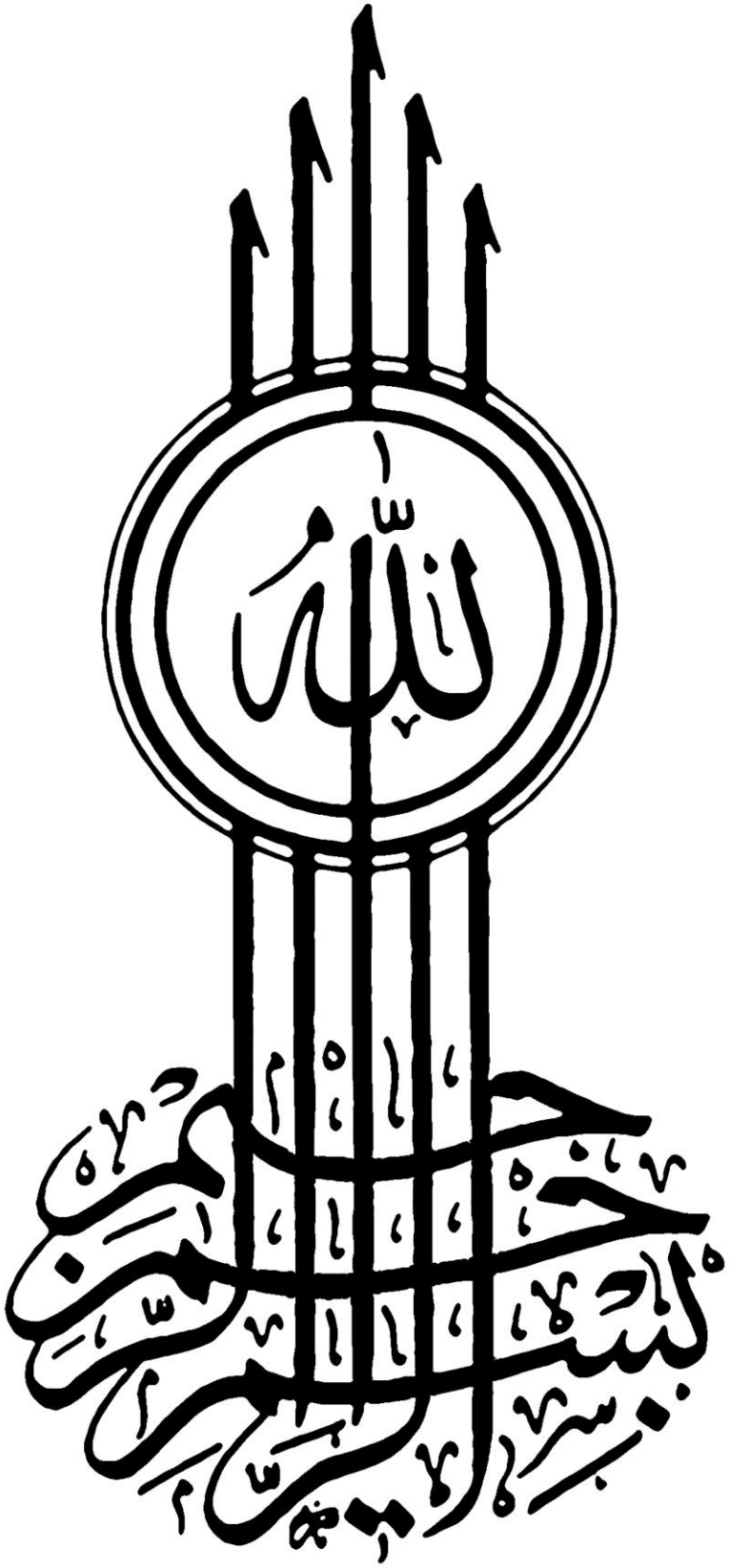
الله
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شاهد

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران – مکانیک خاک و پی

بررسی میزان تراوش آب در قسمت غیراشباع سدهای خاکی

استاد راهنما

دکتر حسن قاسم زاده

استاد مشاور

دکتر محمد حسن کرمی

نام دانشجو

محمد رضا زمانی ابیانه

زمستان ۱۳۹۲

شماره: تاریخ:	**اظهار نامه دانشجو**	

اینجانب **محمدرضا زمانی ابیانه** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته عمران گرایش مکانیک خاک وپی دانشکـــده فنی و مهنـــــدسی دانـشگاه شاهد، گواهی می دهم که پایان نامه/ رساله تدوین شده حاضر با عنوان؛ **" بررسی میزان تراوش آب در قسمت غیراشباع سدهای خاکی"** به راهنـمایی استاد محترم جناب آقای دکتـر **حسن قاسم زاده** ، توسط شخص اینجانب انجام و صحت و اصالت مطالب تدوین شده در آن، مورد تأیید است و چنان چه هر زمان، دانشگاه کسب اطلاع کند که گزارش پایان نامه/ رساله حاضر صحت و اصالت لازم را نداشته، دانشگاه حق دارد، مدرک تحصیلی اینجانب را مسترد و ابطال نماید هم چنین اعلام می دارد در صورت بهره گیری از منابع مختلف شامل؛ گزارش های تحقیقاتی، رساله، پایان نامه، کتاب، مقالات تخصصی و غیره، به منبع مورد استفاده و پدید آورنده آن به طور دقیق ارجاع داده شده و نیز مطالب مندرج در پایان نامه/ رساله حاضر تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب و یا سایر افراد به هیچ کجا ارایه نشده است. در تدوین متن پایان نامه/ رساله حاضر، چارچوب (فرمت) مصوب تدوین گزارش های پژوهشی تحصیلات تکمیلی دانشگاه شاهد به طور کامل مراعات شده و نهایتاً این که، کلیه حقوق مادی ناشی از گزارش پایان نامه/ رساله حاضر، متعلق به دانشگاه شاهد می باشد .

نام و نام خانوادگی دانشجو:.....

امضاء دانشجو:

تاریخ:

تقدیم به پدر و مادر مهربانم

عزیزانی که شمع وجودشان را چراغ راهم،

دعاهایشان را تکیه‌گاه تلاش‌هایم

و راهنمایی‌هایشان را روشنی بخش زندگی‌ام قرار دادند؛

و تقدیم به برادر مهربان و یار عزیزتر از جانم

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و دورد بر محمّد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است.

وظیفه خود می‌دانم از استاد راهنمای محترم، جناب آقای دکتر حسن قاسم‌زاده که با راهنمایی‌های خردمندانه و مستمر خویش مرا در انجام این تحقیق یاری نمود و در این راه از هیچ مساعدتی دریغ نفرمودند و از استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمد حسن کرمی که همواره در مدت تحصیل دوره کارشناسی ارشد و مراحل مختلف پایان‌نامه از وجود پربار ایشان به عنوان استاد مشاور بهره برده‌ام، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین لازم است از مرحوم دکتر نادر اکرامی نسب، که مانند پدری مهربان برای دانشجویان خود بود و در طول دوره کارشناسی ارشد از راهنمایی‌های ایشان بسیار بهره‌مند شده‌ایم، یاد کرده و از ایزد متعال برای آن مرحوم رحمت واسعه الهی و علو درجات مسئلت می‌نماییم.

و در آخر از همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند تشکر کرده و کامیابی روزافزون در طریقت علم و دانش را برای این بزرگواران از خداوند متعال خواهانم.

چکیده

یکی از مهمترین مسایل در سدهای خاکی مساله جریان آب در بدنه و در پی آن‌ها می‌باشد. این حرکت در محاسبه مقدار تلفات آب مخزن، محاسبه پایداری سد، محاسبه فشار برکنش، محاسبه ضخامت و طول زهکش حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین لازم است تراوش آب در بدنه و پی سد خاکی بطور دقیق تعیین شده و به میزان‌های پیش بینی شده محدود گردد.

تا کنون اکثر تحلیل‌های مرتبط با جریان آب در خاک برروی جریان در خاک اشباع متمرکز بوده است و بررسی جریان در قسمت غیراشباع بعلت داشتن پیچیدگی‌های موجود بسیار کم مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق سعی شده است تا با بررسی درصد جریان عبوری از قسمت غیراشباع سدهای خاکی با لحاظ کردن متغیرهای مختلف، به تبیین این موضوع بپردازیم که میزان جریان غیراشباع در قسمت غیراشباع سدهای خاکی چه مقدار می‌باشد و آیا می‌توان از آن صرفنظر کرد.

در این پایان‌نامه محاسبه میزان تراوش در قسمت غیراشباع سدهای خاکی، برای انواع سدها از کوچک تا بزرگ با مقاطع مختلف همگن و ناهمگن و برای متغیرهایی نظیر شیب خاکریز پایین دست و بالادست، سد با زهکش افقی و ترازهای مختلف آب مخزن صورت گرفت.

نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌های صورت گرفته در این پایان‌نامه نشان می‌دهد: درصد تراوش در قسمت غیراشباع سدهای کوچک، بیشتر از سدهای بزرگتر می‌باشد. با افزایش طول زهکش میزان درصد تراوش درقسمت غیراشباع سدهای خاکی افزایش می‌یابد. با کاهش هرچه بیشتر میزان نفوذپذیری هسته سد نسبت به بدنه، شاهد کاهش میزان آب عبوری از قسمت غیراشباع سد می‌باشیم. درصد آب عبوری در قسمت غیراشباع برای سدهای با شیب خاکریز ۱:۳ نسبت به سدهای با شیب ۱:۲ بیشتر است. با کاهش نفوذپذیری پی سدهای خاکی، شاهد افزایش سهم تراوش در قسمت غیراشباع خواهیم بود و بالعکس در پی‌های نفوذپذیرتر درصد تراوش در قسمت غیراشباع سدهای خاکی کاهش خواهد یافت.

با توجه به نتایج حاصل، می‌توان در کل اینگونه نتیجه گرفت که تراوش در قسمت غیراشباع به متغیرهای مختلفی بستگی دارد که هر کدام در جای خود از اهمیت برخوردارند ولی تاثیر نوع خاک و نمودار مکش به نفوذپذیری در میزان تراوش در قسمت غیراشباع از همه متغیرها چشمگیرتر است.

کلمات کلیدی: سدهای خاکی، تراوش، خاک‌های غیراشباع، نمودار مکش نسبت به نفوذپذیری

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... د

فهرست شکل‌ها ..... و

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱-کلیات تحقیق ۱

۱-۲-زمینه تحقیق ۲

۱-۳-هدف تحقیق ۳

۱-۴-ساختار پایان‌نامه ۳

۱-۵-محدوده تحقیق ۴

فصل ۲-مروری بر ادبیات موضوع ۵

۲-۱-مقدمه ۵

۲-۲-تاریخچه ۵

۲-۳-تحقیقات صورت گرفته در حوزه خاک‌های غیراشباع ۸

۲-۴-قوانین حاکم بر جریان ۱۱

۲-۴-۱-پتانسیل جریان آب ۱۱

۲-۵-حالت‌های جریان آب و هوای حفره‌ای ۱۲

۲-۶-قانون جریان حالت پایدار برای آب ۱۳

۲-۷-نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی ۱۵

۲-۷-۱- نفوذپذیری مطلق و ضریب نفوذپذیری ۱۵

۲-۷-۲- تاثیرات اندازه، پراکندگی دانه‌های خاک ۱۶

۲-۸-تابع ضریب نفوذپذیری هیدرولیکی ۱۶
۲-۸-۱-مدل مفهومی برای تابع ضریب نفوذپذیری هیدرولیکی..... ۱۶
۲-۸-۲-پدیده هیسترزیس در تابع ضریب نفوذپذیری هیدرولیکی ۱۸

۲-۹-نفوذپذیری نسبی ۲۰

۲-۱۰-محاسبه ضریب نفوذپذیری ۲۱
۲-۱۰-۱-روش چیلد ۱۹۶۹..... ۲۱
۲-۱۰-۲-روش ون ژانشتین ۱۹۸۰ ..... ۲۳
۲-۱۰-۳-روش فردلند و همکاران ۱۹۹۴ ..... ۲۴

۲-۱۱-تابع محتوای آب ۲۵
۲-۱۱-۱-روش‌های بدست آوردن تابع محتوای آب..... ۲۶

فصل ۳-معرفی نرم افزار SEEP/W ۳۰

۳-۱-مدل سازی عددی ۳۰

۳-۲-تعریف مدلسازی عددی ۳۰

۳-۳-دلایل مدلسازی عددی ۳۱
۳-۳-۱-پیش بینی کمیت‌ها ۳۱
۳-۳-۲-مقایسه راه کارها ۳۱
۳-۳-۳-شناسایی پارامترهای موثر ۳۱
۳-۳-۴-درک بهتر مسائل ۳۱

۳-۴-روند و مفاهیم مدلسازی ۳۲
۳-۴-۱-حدس زدن ۳۲
۳-۴-۲-شناخت مساله ۳۲
۳-۴-۳-ساده سازی هندسه ۳۲
۳-۴-۴-مدلسازی ساده ۳۲
۳-۴-۵-آزمایش‌های عددی ۳۲
۳-۴-۶-مدلسازی اجزای ضروری ۳۳

۳-۵-هندسه و شبکه بندی ۳۳
۳-۵-۱-ایجاد شبکه ۳۳
۳-۵-۲-قواعد المان‌بندی ۳۴

۳-۶-مصالح و مشخصات آن‌ها ۳۵
۳-۶-۱-مدل‌های رفتار خاک..... ۳۵
۳-۶-۲- شرایط مرزی..... ۳۹

۳-۷-صحت سنجی نرم افزار ۴۳
۳-۷-۱-تغییر طول زهکش و فاصله خط اشباع از شیب پایین دست ۴۳
۳-۷-۲- بررسی نرخ جریان آب ۴۶
۳-۷-۳-بررسی خط اشباع ۴۹

۳-۸-نتیجه‌گیری ۵۰

فصل ۴-بررسی تراوش در قسمت غیر اشباع سدهای خاکی ۵۱

۴-۱-مشخصات هندسی مدل ۵۱

۴-۲-نمودارهای مکش به نفوذپذیری ۵۲

۴-۳-سدهای خاکی همگن ۵۳

۴-۴-سدهای خاکی همگن با زهکش افقی ۶۱

۴-۵-سدهای خاکی دارای هسته با نفوذپذیری کم ۶۶
۴-۵-۱-بخش اول: خاک یکسان در بدنه و هسته ۶۶
۴-۵-۲-بخش دوم: خاک متفاوت در بدنه و هسته ۷۱

۴-۶-شیب دامنه ها ۷۲

۴-۷-سطح آب ۷۹

۴-۸-سد با پی نفوذپذیر ۸۳

۴-۹-نتیجه گیری ۸۵

فصل ۵-نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۶

۵-۱-نتیجه‌گیری ۸۶

۵-۲-پیشنهادات ۸۷

فهرست مراجع ۸۸

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه خاک‌های غیراشباع ۸
جدول ۲-۲: مقادیر مختلف δ با توجه به اندیس توزیع حفرات در خاک‌های مختلف ۲۳
جدول ۳-۱: مقایسه فاصله میان شیب پایین دست و خط آزاد جریان بدست آمده از نرم افزار و روش تحلیلی ۴۵
جدول ۳-۲: مقادیر αj برای سد خاکی همگن نسبت به Δh2/L متفاوت ۴۷
جدول ۳-۳: مقادیر αj برای سد خاکی همگن نسبت به Δh2/L′ متفاوت ۴۷
جدول ۳-۴: مقایسه حل کازاگرانده برای تعیین محل برخورد خط اشباع با شیب پایین دست با خروجی‌های نرم افزار SEEP/W ۵۰
جدول ۴-۱: درصد جریان عبوری از قسمت غیراشباع برای خاک Yolo light clay، در سدهای همگن ... ۵۴
جدول ۴-۲: درصد جریان عبوری از قسمت غیراشباع برای خاک Superstition sand ، در سدهای همگن ۵۴
جدول ۴-۳: درصد جریان عبوری از قسمت غیراشباع برای خاک Guelph loam، در سدهای همگن ۵۴
جدول ۴-۴: درصد جریان عبوری از قسمت غیراشباع برای خاک Indian Head Silt، در سدهای همگن . ۵۴
جدول ۴-۵: درصد جریان عبوری از قسمت غیراشباع برای خاک Yolo light clay، سد با زهکش افقی .. ۶۱
جدول ۴-۶: درصد جریان عبوری از قسمت غیراشباع برای خاک Superstition sand ، سد با زهکش افقی ۶۱
جدول ۴-۷: درصد جریان عبوری از قسمت غیراشباع برای خاک Guelph loam ، سد با زهکش افقی ۶۲
جدول ۴-۸: درصد جریان عبوری از قسمت غیراشباع برای خاک Indian Head Silt ، سد با زهکش افقی ۶۲
جدول ۴-۹: درصد جریان عبوری از قسمت غیراشباع برای خاک Yolo light clay، در سدهای خاکی درای هسته ۶۷
جدول ۴-۱۰: درصد جریان عبوری از قسمت غیراشباع برای خاک Superstition sand ، در سدهای خاکی درای هسته ۶۷
جدول ۴-۱۱: درصد جریان عبوری از قسمت غیراشباع برای خاک Guelph loam ، در سدهای خاکی درای هسته ۶۷
جدول ۴-۱۲: درصد جریان عبوری از قسمت غیراشباع برای خاک Indian Head Silt ، در سدهای خاکی درای هسته ۶۷
جدول ۴-۱۳: تحلیل تراوش برای سدهای دارای هسته با خاک متفاوت در بدنه و هسته ۷۱
جدول ۴-۱۴: تحلیل تراوش در سد خاکی با شیب ۱ به ۲ در هر دو خاکریز ۷۳
جدول ۴-۱۵: تحلیل تراوش در سد خاکی با شیب ۱ به ۲ در خاکریز سمت بالادست و شیب ۱ به ۳ در خاکریز سمت پایین دست ۷۳

جدول ۴-۱۶: تحلیل تراوش در سد خاکی با شیب ۱ به ۳ در خاکریز سمت بالادست و شیب ۱ به ۲ در خاکریز سمت پایین دست ۷۴
جدول ۴-۱۷: تحلیل تراوش در سد خاکی با شیب ۱ به ۳ در هر دو خاکریز ۷۴
جدول ۴-۱۸: تحلیل تراوش در سد خاکی با ارتفاع آزاد آب از تاج سد تا سطح آب مخزن H/10 ..... ۸۰
جدول ۴-۱۹: تحلیل تراوش در سد خاکی با ارتفاع آزاد آب از تاج سد تا سطح آب مخزن 2H/10 ..... ۸۱
جدول ۴-۲۰: تحلیل تراوش در سد خاکی با ارتفاع آزاد آب از تاج سد تا سطح آب مخزن 3H/10 ..... ۸۱
جدول ۴-۲۱: درصد آب عبوری از قسمت غیراشباع در سد خاکی با بدنه ساخته شده با خاک Superstition sand در سد با پی نفوذپذیر ۸۳
جدول ۴-۲۲: درصد آب عبوری از قسمت غیراشباع در سد خاکی با بدنه ساخته شده با خاک Guelph loam در سد با پی نفوذپذیر ۸۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: رابطه میان فشار مویینگی و نفوذپذیری، Laliberte & Corey (1967) ۷
شکل ۲-۲: یک مدل مفهومی برای نشان دادن سه رژیم متمایز در جریان سیال غیراشباع [۴۶] ۱۳
شکل ۲-۳: نتایج آزمایشگاهی مطالعه قانون دارسی در خاک‌های غیراشباع [۳۸] ۱۴
شکل ۲-۴: طیف گسترده ای از نفوذ پذیری برای انواع خاک [۴۶] ۱۶
شکل ۲-۵: مدل مفهومی برای تابع ضریب نفوذپذیری هیدرولیکی، خاک در حالت a کاملاً اشباع بوده و به مرور در قسمت‌های b تا d از آب حجمی درون خاک کاسته شده مکش افزایش می‌یابد [۴۶] ۱۷
شکل ۲-۶: مدل مفهومی برای تابع ضریب نفوذپذیری هیدرولیکی، (a) نمودار آب حجمی نسبت به مکش (b) نمودار ضریب هدایت هیدرولیکی نسبت به مکش [۴۶] ۱۸
شکل ۲-۷: پدیده هیسترزیس در تابع ضریب نفوذپذیری هیدرولیکی، (a) نمودار آب حجمی نسبت به مکش (b) نمودار ضریب هدایت هیدرولیکی نسبت به مکش [۴۶] ۱۹
شکل ۲-۸: عدم وجود پدیده هیسترزیس (فردلوند ۱۹۹۴) [۳۸] ۱۹
شکل ۲-۹: توابع نفوذپذیری نسبی هوا و نفوذپذیری نسبی آب و درجه اشباع آب خاک با استفاده از مدل بروکس و کری [۴۶] ۲۰
شکل ۲-۱۰: تغییرات درجه اشباع ماندگار خاک در برابر تغییرات مکش بافتی [۴۶] ۲۲
شکل ۲-۱۱: مقادیر λ در خاک‌های مختلف[۴۶] ۲۲
شکل ۲-۱۲: تابع محتوای آب حجمی ۲۵
شکل ۳-۱: برخی توابع نمونه در نرم‌افزارSEEP/W [۳] ۳۶
شکل ۳-۲: مسیرهای مختلف آب در درصدهای اشباع مختلف خاک[۳] ۳۷
شکل ۳-۳: پارامترهای موجود در ماتریس هدایت هیدرولیکی[۳] ۳۸
شکل ۳-۴: مثالی برای مدل وجه مشترک[۳] ۳۹
شکل ۳-۵: شراط مرزی در یک سد خاکی[۳] ۴۰
شکل ۳-۶: شرایط مرزی فشار ثابت P=0 برای شیب پایین دست سد خاکی[۳] ۴۲
شکل ۳-۷: شرط مرزی جبهه تراوش احتمالی برای شیب پایین دست سد خاکی[۳] ۴۲
شکل ۳-۸: متغیرهای موجود در معادله ارائه شده توسط Chahar[۵۵] ۴۴
شکل ۳-۹: بررسی طول زهکش به فاصله شیب پایین دست و خط آزاد جریان برای حالتی که سطح آب مخزن ۲۵ متر می‌باشد ۴۵
شکل ۳-۱۰: بررسی طول زهکش به فاصله شیب پایین دست و خط آزاد جریان برای حالتی که سطح آب مخزن ۳۵ متر می‌باشد ۴۵

شکل ۳-۱۱: بررسی طول زهکش به فاصله شیب پایین دست و خط آزاد جریان برای حالتی که سطح آب مخزن ۴۵ متر می‌باشد..... ۴۶
شکل ۳-۱۲: سد همگن با زهکش پنجه‌ای و تعریف متغیرهای مورد نیاز موجود در معادله ارائه شده توسط شنبلی[۶۲]..... ۴۶
شکل ۳-۱۳: سدها با هسته رسی مرکزی و تعریف متغیرهای مورد نیاز موجود در معادله ارائه شده توسط چاپیوس و ابرتین[۶۲]..... ۴۸
شکل ۳-۱۴: مقایسه‌ای از نرخ جریان بدست آمده از فرمول ارائه شده توسط چاپیوس و ابرتین ۲۰۰۱ و تحلیل عددی صورت گرفته در نرم‌افزار SEEP/W برای سدهای همگن ۴۸
شکل ۳-۱۵: مقایسه‌ای از نرخ جریان بدست آمده از فرمول ارائه شده توسط چاپیوس و ابرتین ۲۰۰۱ و تحلیل عددی صورت گرفته در نرم‌افزار SEEP/W برای سدهایی با هسته رسی مرکزی..... ۴۹
شکل ۳-۱۶: حل کازاگرانده برای تعیین محل برخورد خط اشباع با شیب پایین دست..... ۴۹
شکل ۴-۱: ابعاد کلی سد خاکی مورد استفاده در تحلیل‌ها..... ۵۲
شکل ۴-۲: نمودار نفوذپذیری به مکش برای چهار نوع خاک مختلف..... ۵۳
شکل ۴-۳: تاثیر ابعاد سد (ارتفاع سد) به درصد تراوش در قسمت غیراشباع سد خاکی ۵۵
شکل ۴-۴: منحنی میزان‌های فشار آب حفره‌ای برای خاک Yolo light clay در سد با ارتفاع‌های الف) ۱۰متر ب) ۲۰متر ج)۴۰ متر د) ۸۰ متر ه) ۱۶۰ متر ۵۶
شکل ۴-۵: تاثیر درصد تراوش در قسمت غیراشباع با تغییر نفوذپذیری با ثابت نگه داشتن الگو نمودار مکش به نفوذپذیری..... ۵۸
شکل ۴-۶: تاثیر درصد تراوش در قسمت غیراشباع با تغییر نفوذپذیری با ثابت نگه داشتن الگو نمودار مکش به نفوذپذیری (مقایسه سدهای با ابعاد یکسان) ۶۰
شکل ۴-۷: سد خاکی با زهکش افقی..... ۶۱
شکل ۴-۸: تاثیر طول زهکش برروی میزان تراوش در قسمت غیراشباع در انواع خاک‌های مختلف ۶۳
شکل ۴-۹: تاثیر طول زهکش افقی برروی میزان تراوش در قسمت غیراشباع در سدها با ابعاد مختلف با در نظر گرفتن انواع خاک‌ها..... ۶۵
شکل ۴-۱۰: محل قرار گیری خط اشباع با تغییر طول زهکش افقی برای سدهای ساخته شده از خاک Yolo light clay الف) طول زهکش به اندازه ارتفاع سد H ب) طول زهکش نصف ارتفاع سد ۶۶
شکل ۴-۱۱: شکل هندسی سدهای خاکی با هسته که در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت ۶۶
شکل ۴-۱۲: تراوش در قسمت غیراشباع سدهای با هسته شامل خاک‌های مختلف..... ۶۹
شکل ۴-۱۳: بررسی تراوش در سدهای با ابعاد مختلف دارای هسته..... ۷۱
شکل ۴-۱۴: سد خاکی با شیب ۱ به ۲ در هر دو خاکریز ۷۳
شکل ۴-۱۵: سد خاکی با شیب ۱ به ۲ در خاکریز سمت بالادست و شیب ۱ به ۳ در خاکریز سمت پایین دست ۷۳

شکل ۴-۱۶: سد خاکی با شیب ۱ به ۳ در خاکریز سمت بالادست و شیب ۱ به ۲ در خاکریز سمت پایین دست ۷۴
شکل ۴-۱۷: سد خاکی با شیب ۱ به ۳ در هر دو خاکریز ۷۴
شکل ۴-۱۸: تغییرات شیب و تاثیر آن بروی تراوش در قسمت غیراشباع در سدهایی با شیب برابر در دو شیب پایین دست و بالادست ۷۶
شکل ۴-۱۹: تغییرات شیب و تاثیر آن بروی تراوش در قسمت غیراشباع در سدهایی با شیب برابر در دو شیب پایین دست و بالادست برای خاک‌های متفاوت ۷۷
شکل ۴-۲۰: سدهای خاکی با دو شیب متقاوت در خاکریز پایین دست و بالادست ۷۹
شکل ۴-۲۱: ارتفاع آزاد آب از تاج سد تا سطح آب مخزن H/10 ..... ۸۰
شکل ۴-۲۲: ارتفاع آزاد آب از تاج سد تا سطح آب مخزن 2H/10 ..... ۸۰
شکل ۴-۲۳: ارتفاع آزاد آب از تاج سد تا سطح آب مخزن 3H/10 ..... ۸۱
شکل ۴-۲۴: تاثیر تراز آب مخزن بر تراوش در قسمت غیراشباع سدهای خاکی ۸۲
شکل ۴-۲۵: شکل کلی سد خاکی با پی نفوذپذیر ۸۳
شکل ۴-۲۶:تراوش در قسمت غیراشباع سد با پی نفوذ پذیر ۸۴

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– کلیات تحقیق

سدهای ساخته شده از مصالح حاصل از خاکبرداری، بدون اضافه کردن هرگونه مصالح چسباننده‌ی مصنوعی، سدهای خاکریزه‌ای[۱] نامیده می‌شوند. در چنین سدهایی مصالح طبیعی بدون اضافه کردن هرگونه مصالح چسباننده، به صورت لایه لایه ریخته شده و توسط ماشین آلات سنگین کوبیده و متراکم می‌شوند. سدهای خاکریزه‌ای به دو دسته مهم سدهای خاکی[۲] و سدهای سنگریزه‌ای[۳] تقسیم می‌شوند. دلایل زیادی باعث استفاده روز افزون از سدهای خاکریزه‌ای شده است، که برخی از این دلایل به شرح ذیل می‌باشند:

۱. مناسب برای دره‌های عریض
۲. استفاده از مصالح طبیعی
۳. قابلیت انعطاف طراحی برای انواع مختلف مصالح خاکی تا مصالح سنگی
۴. پایین بودن بهای واحد کار و کم بودن نرخ رشد تورم

استفاده روز افزون از سدهای خاکریزه‌ای سبب شده است، نکات مهمی در طراحی اینگونه سدها لحاظ شود تا ریسک آسیب پذیری سد به حداقل برسد. مکانیسم‌های مختلفی باعث خرابی سدهای خاکریزه‌ای در طول بهره‌برداری از آن‌ها می‌شود، که لبریز شدن[۴] و فرسایش داخلی[۵]، عمده‌ترین خرابی‌ها و صدمات را به سدهای خاکی وارد کرده‌اند.

برای جلوگیری از فرسایش به‌علت پدیده‌ی رگاب[۶] و جابجایی مصالح ریزدانه از هسته‌ی نفوذناپذیر، و باتلاقی شدن پایین دست، باید نشت آب از بدنه و پی سد کنترل شده باشد. بنابراین شیب هیدرولیکی، فشار، و سرعت نشت باید در حد مجاز برای مصالح انتخابی نگه داشته شوند.

برای محاسبه مقدار آب نشتی از بدنه‌ی سد خاکی همگن راه حل‌های مختلفی ارائه شده است. حل دوپویی، شافرناک[۷]، کازاگرانده و پائولوفسکی از شناخته شده‌ترین روش‌ها برای محاسبه نشت از بدنه سدهای خاکی می‌باشند ولی اشکال عمده این روش‌ها در نظر گرفتن تراوش در زیر خط جریان[۸] یعنی ناحیه اشباع است و با نادیده گرفتن جریان در قسمت غیراشباع به محاسبه تراوش می‌پردازند.

---

[1] Embankment Dam
[2] Earth Dam
[3] Rockfill Dam
[4] Overtopping
[5] Internal Erosion
[6] Piping
[7] Schaffernak
[8] Phreatic Surface

در سال‌های اخیر بررسی‌های زیادی در زمینه تراوش در قسمت اشباع انواع خاک‌ها صورت گرفته است. اما در زمینه تراوش در قسمت غیراشباع سدهای خاکی تحقیقات کمتری صورت گرفته است. ما نیز در این تحقیق ابتدا به بررسی روابط بیان شده برای خاک‌های غیراشباع و در ادامه به بررسی تراوش در قسمت غیراشباع سدهای خاکی خواهیم پرداخت.

۱-۲- زمینه تحقیق

بنابر قوانین عمومی هیدرودینامیک، وقتی یک قطره آب به داخل خاک نفوذ می‌کند، راحت‌ترین مسیر با حداقل اصطکاک را جهت طی کردن انتخاب می‌کند. این قطره آب در جهت گرادیان یا شیب ماکزیمم شروع به حرکت می‌کند و مسیر حرکت آن عمود بر جهت خطوط تراز است. در این حالت خطوط تراز خطوط هم‌پتانسیل می‌باشند، یعنی هر خط، مکان هندسی نقاطی است که انرژی پتانسیل آن‌ها یکسان است.

یکی از قوانین اساسی حرکت آب در خاک قانون دارسی است. این قانون، در سال ۱۸۵۶ توسط هانری دارسی دانشمند فرانسوی ارائه گردید. دارسی به تجربه دریافت مقدار آبی که در واحد زمان از واحد سطح یک نمونه ماسه عبور می‌کند با اختلاف بار هیدرولیکی بین نقاط ورود و خروج آب متناسب است و نیز با طول نمونه نسبت عکس دارد.

با معرفی خاک‌های غیراشباع، تراوش در این خاک‌ها نیز توسط قانون دارسی بیان شد. اگرچه ضریب نفوذپذیری در خاک‌های غیراشباع دارای مقدار ثابتی نبوده و مقدار آن تابعی از مکش و درصد رطوبت خاک می‌باشد. جریان آب در خاک‌های غیراشباع تنها از طریق مجاری آب درون خاک امکان پذیر بوده و هیچ‌گونه جریان آبی در فاز هوا رخ نخواهد داد. در نتیجه در جریان آب در خاک می‌توان هوا و دانه‌های خاک را یک فاز مستقل نسبت به آب در نظر گرفت و در حالتی که در مورد جریان آب در خاک‌های غیراشباع بحث می‌شود مشابه حالت اشباع، دو فاز مستقل خواهیم داشت. در نتیجه می‌توان مشابه حالت اشباع خاک از قانون دارسی برای بیان جریان در خاک غیراشباع استفاده نمود.

دو نوع تحلیل برای تراوش وجود دارد: حالت پایا و حالت گذرا، که قیدها و شرایط بی‌شماری می‌تواند در هر کدام از انواع تحلیل تراوش با استفاده از روش المان محدود به کار رود.

حالت پایا وضعیتی را توصیف می‌کند که در آن شرایط مدل پایدار است و تغییری نمی‌کند. در یک آنالیز نشت برای مثال، وضعیت یا حالت پایدار به معنی فشار آب و دبی پایا می‌باشد. اگر آن‌ها به یک مقدار پایدار رسیده باشد این به آن معنا است که آن‌ها برای همیشه در آن حالت خواهند بود و تغییر نخواهند کرد.

تحلیل گذرا در تعریف به این معناست که یکی از شرایط مساله همیشه در حال تغییر است. به دلیل زمانی که طول می‌کشد که خاک به شرایط مرزی استفاده شده پاسخ دهد سیستم به حالت تعادل نرسیده و پارامترها تغییر می‌کنند. مثال‌های تحلیل گذرا عبارت است از: پیش بینی زمان مورد نیاز جهت مرطوب شدن هسته یک سد وقتی که مخزن سریع پر شود و یا پیش بینی نشت آب از سطح سد پس از وقوع یک بارش شدید باران.

تراوش پایدار در قسمت غیراشباع سدهای خاکی در شرایط مختلف در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۳-هدف تحقیق

هدف اصلی از این تحقیق بررسی میزان تراوش آب در قسمت غیراشباع سدهای خاکی با درنظر گرفتن تاثیر شرایط مختلف مرزی و محیطی می‌باشد. شایان ذکر است در ایران برخلاف نقاط دیگر جهان فعالیت‌های بسیار محدودی در زمینه خاک‌های غیراشباع صورت گرفته است که تحقیق پیش‌رو می‌تواند قدمی هرچند اندک در معرفی خواص خاک غیراشباع و بخصوص تروش در قسمت غیراشباع سدهای خاکی به جامعه مهندسین ایران بردارد.

۱-۴-ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه دارای پنج فصل می‌باشد.فصل اول شامل مقدمه بوده و درباره کلیات پایان نامه توضیح می‌دهد.

در فصل دوم به مروری بر ادبیات موضوع خواهیم پرداخت و تاریخچه و تئوری‌های مربوط به بررسی تراوش در خاک غیراشباع را مورد بررسی قرار خواهیم داد. برای بررسی دقیق تراوش در قسمت غیراشباع سدهای خاکی باید ابتدا، قوانین حاکم بر جریان در اینگونه خاک‌ها را شناخت که رسالت اصلی فصل دوم می‌باشد. نفوذپذیری جزء پارامترهای مهم توصیف قوانین جریان می‌باشد که در این فصل توضیح داده خواهد شد. ضریب نفوذپذیری هیدرولیکی خاک غیراشباع تابعی از ،ساختار منافذ (تخلخل[1]، نسبت تخلخل[2])، خواص مایع (چگالی و گرانروی) و مقدار نسبی مایع موجود در سیستم می‌باشد. محاسبه ضریب نفوذپذیری خاک با استفاده از منحنی مشخصه آب-خاک توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است که برخی از آن روش‌ها در ادامه فصل دوم بیان خواهند شد.

جهت حل مسائل عددی در مهندسی عمران نرم افزارهای نسبتاً زیادی در دسترس می‌باشد. با توجه به موضوع پایان نامه، که به بررسی مساله تراوش آب در خاک می‌پردازد از نرم افزار SEEP/W که قادر به محاسبه تراوش آب در خاک‌های اشباع و غیراشباع می‌باشد، استفاده می‌کنیم. از آن‌جا که استفاده از نرم افزارها بدون دانستن تئوری‌های مربوطه منجر به حل ناصحیح مسایل می‌گردد. در فصل سوم تئوری‌های مربوط به مدل‌سازی در نرم‌افزار SEEP/W بیان شده و همچنین به بیان نکاتی که موجب هر چه دقیق‌تر شدن مدل سازی خواهند شد خواهیم پرداخت.

سعی ما در فصل چهارم این است تا با بررسی درصد جریان عبوری از قسمت غیراشباع سدهای خاکی با لحاظ کردن متغیرهای مختلف، به تبیین این موضوع که میزان جریان غیراشباع در قسمت غیراشباع

[1] porosity
[2] void ratio

سدهای خاکی چه مقدار می‌باشد، پرداخته‌ایم. در فصل آخر نیز ما به ارائه نتایج حاصل از مدلسازی‌ها خواهیم پرداخت و پیشنهاداتی را برای محققین علاقه مند به تحقیق در این موضوع ارائه خواهیم کرد.

۱–۵– محدوده تحقیق

محاسبه میزان تراوش در قسمت غیراشباع سدهای خاکی، برای انواع سدها از کوچک تا بزرگ با مقاطع مختلف همگن و ناهمگن و برای متغیرهای نظیر شیب خاکریز پایین‌دست و بالادست، سدهایی با زهکش‌های افقی متفاوت و ترازهای مختلف آب مخزن صورت گرفته است.

برای خاک‌های مختلف، نمودار مکش به نفوذپذیری متفاوت می‌باشد. در حالت کلی با کاهش درجه اشباع خاک هوا وارد فضای حفره‌های خاک شده و باعث خروج آب درون حفره‌ها می‌شود. با کاهش بیشتر درجه اشباع خاک، حجم آب درون حفره‌های خاک کاهش یافته و باعث نزدیک‌تر شدن سطح مشترک آب-هوا به دانه‌های جامد خاک می‌شود. در نتیجه ضریب نفوذپذیری خاک نسبت به آب به دلیل کاهش مسیرهای جریان آب کاهش می‌یابد. در این پایان‌نامه ما از چهار نوع خاک در تحلیل‌های خود استفاده کردیم و نتیجه‌گیری‌های انجام شده محدود به این چهار نوع خاک می‌باشد.

همانطور که گفته شد، تحلیل تراوش در سدهای خاکی در دو حالت پایدار و ناپایدار انجام می‌شود، که در مدلسازی‌های انجام شده در این تحقیق از روش پایدار استفاده شده است.

در بررسی‌های صورت گرفته صرفاً به بررسی تراوش در قسمت غیراشباع پرداخته شده است و سایر مسائل مرتبط با سدهای خاکی مانند پایداری شیب‌ها، تاثیر بارهای لرزه‌ای و ... بررسی نشده است که این مسائل می‌تواند پیشنهادی برای فعالیت‌های آینده باشد.

فصل ۲–مروری بر ادبیات موضوع

۲–۱– مقدمه

امروزه مسائل زیادی وجود دارد که برای تحلیل آن‌ها نیاز به مفاهیم تراوش در خاک‌های غیراشباع خواهیم داشت. گستره این چنین مسائلی را می‌توان از محاسبه فشار تراوش در سازه‌های مرتبط با زمین تا جابجایی آلودگی‌ها در سیستم‌های آب‌های زیرزمینی درنظر گرفت. حل چنین مسائل متنوع و پیچیده‌ای در زمینه تراوش، لزوم ارائه مدل‌های دقیق شبیه‌سازی خاک را روزبه‌روز روشن‌تر می‌کند.

زمانی که تحلیل جریان آب در خاک اشباع مورد نظر باشد، مهندسین به صورت سنتی به روش‌های عددی و ترسیمی تکیه می‌کنند. باید توجه داشت که استفاده از این روش‌ها، مانند روش شبکه جریان[۱]، نمی‌تواند مقادیر مناسبی را حتی در مسائل غیرپیچیده جریان در خاک‌های غیراشباع در اختیار ما قرار دهد.

برای حل مسائل موجود در این تحقیق از مدل ارائه شده توسط فردلاند و زینگ[۲][۱] برای بدست آوردن تابع محتوای آب و روش فردلاند و همکاران[۳][۲] جهت محاسبه ضریب هدایت هیدرولیکی خاک غیراشباع استفاده خواهیم کرد. این مدل به بررسی جریان آب در خاک اشباع-غیراشباع می‌پردازد. جریان در فضای دوبعدی و شرایط حالت پایدار فرض می‌شود. ثابت نفوذپذیری وقتی فشار آب حفره‌ای منفی می‌باشد به صورت تابعی از فشار آب حفره‌ای رفتار می‌کند و معادلات دیفرانسیل غیرخطی جریان با استفاده از یک برنامه المان محدود حل می‌شوند.

فرمول‌های این تئوری در برنامه‌ای بنام SEEP/W ارائه شده‌اند. SEEP/W قادر به لحاظ کردن درجات مختلف غیرهمسانگرد[۴] و غیرایزوتروپی[۵] می‌باشد و همچنین توانایی رسم گرافیکی نتایج را خواهد داشت[۳].

۲–۲–تاریخچه

اولین فعالیت‌های تئوری انجام شده در زمینه جریان در خاک‌های غیراشباع توسط ریچاردز[۶] [۴]در سال ۱۹۳۱ انجام شده است که اصطلاح انتقال توسط نیروی مویینگی را برای توصیف حرکت رطوبت میان خاک‌های غیراشباع تعریف کرد. اولین نتیجه‌گیری که توسط ریچاردز انجام شد عبارتست از: "تفاوت اساسی میان جریان در یک محیط متخلخل اشباع و در یک محیط متخلخل غیراشباع این است که در حالت

[1] Flow net
[2] Fredlund and Xing
[3] Fredlund, Xing and Huang
[4] heterogeneity
[5] anisotropy
[6] Richards 1931

غیراشباع، فشار بوسیله نیروهای مویینگی تعریف شده و قابلیت انتقال بستگی به حجم رطوبت محیط دارد".

بعد از پژوهش‌های ریچارد در سال ۱۹۳۱، پیشرفت در زمینه جریان در خاک‌های غیراشباع تقریباً متوقف شد که علت اصلی آن را می‌توان نبود شناخت کافی در مورد پدیده‌های وابسته به این پدیده دانست. و دیگر دلیل این امر استفاده از مدل‌های جریان مختلف برای مسائل کاربردی، به علت دردسترس نبودن ابزار تحلیلی برای حل معادلات دیفرانسیل پیچیده، بسیار دشوار بود.

در سال ۱۹۳۷، کاساگرانده[1] [۵] مقاله خود با نام "تراوش در سدها" را منتشر کرد که در آن روش گرافیکی شبکه جریان را برای حل مسائل تراوش پیشنهاد کرده بود. روش شبکه جریان، تنها جریان آب را در منطقه اشباع در نظر می‌گیرد. در این روش مرز بالایی جریان به عنوان خط تراوش خوانده می‌شود که مجهول می‌باشد و باید توسط رسم شبکه جریان تعیین شود. این کار بالحاظ کردن اینکه خط تراوش دارای نقاط همفشار با فشار صفر می‌باشد و در بالاترین خط جریان می‌باشد، انجام می‌شود.

پیشرفت‌هایی در زمینه خاک‌های غیراشباع صورت گرفت و که نشان دهنده رابطه میان ضریب نفوذپذیری و فشار مویینگی بود. در سال ۱۹۵۸، گاردنر[2][۶]، معادله زیر که یک رابطه کلی میان ضریب نفوذپذیری و فشار مویینگی برای خاک غیراشباع است را ارائه کرد.

$$k = \frac{a}{b + p_c^n} \qquad (۱-۲)$$

k= نفوذپذیری مصالح، (cm^2)

p_c= فشار مویینگی، $(dynes/cm^2)$

n= ثابت بدون بعد

a, b= ثابت‌های وابسته به واحدهای استفاده شده

در سال ۱۹۶۶، بروکز و کری[3] [۷] یک رابطه ریاضی برای نسبت نفوذپذیری و فشار مویینگی برای خاک‌های غیراشباع ارائه دادند. رابطه عمومی بروکز و کری به شکل زیر می‌باشد.

$$k = k_0 \quad for \quad p_c \le p_b$$
$$k = k_0 \left\{\frac{p_b}{p_c}\right\}^m \quad for \quad p_c > p_b \qquad (۲-۲)$$

p_c= فشار مویینگی (تفاوت میان فشار هوا و فشار آب حفره‌ای)، $(dynes/cm^2)$

p_b= فشار حباب شدن (حداقل فشار مویینگی که فاز هوای پیوسته در محیط متخلخل وجود دارد)

k_0= ضریب نفوذپذیری اشباع، (cm^2)

k= ضریب نفوذپذیری در فشارمویینگی p_c

m = ثابت بدون بعد

[1] Casagrande 1937
[2] Garder 1985
[3] Brooks & Corey 1966