بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد رشته سازه های آبی

بررسی تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی سدهای تأخیری پاره سنگی و تأثیر آن بر روندیابی سیل در جریان همراه با رسوبات معلق چسبنده

نگارش:

محمد حسین غلام زاده

استاد راهنما:

دکتر جمال محمد ولی سامانی

استاد مشاور:

دکتر سید علی ایوب‌زاده

تیر ۱۳۸۹

چکیده

در سال‌های اخیر، سدهای پاره‌سنگی برای مدیریت حوزه و کنترل سیل مورد توجه قرار گرفته است. مزیت مهم این نوع سازه‌ها علاوه بر بخش هیدرولیکی، در سازگاری کامل آن‌ها با طبیعت و محیط زیست است. رابطه دارسی در محیط‌های متخلخل سنگریزه‌ای دارای اعتبار نمی‌باشد. نیروی تراوش، شبکه جریان تراوش و مقدار تراوش در سدهای سنگریزه‌ای با عدد رینولدز تغییر می‌کند و مقدار تراوش بسیار بیشتر از محیط‌هایی است که قانون دارسی در آن‌ها معتبر است که این هدف از ساخت سدهای سنگریزه‌ای می‌باشد. این تحقیق با انجام آزمایشاتی روی دو نمونه مستطیل شکل از سد پاره‌سنگی آزمایشگاهی به طول ۷۰ و ۱۰۰ سانتی متر و ارتفاع و عرض ۳۰ سانتی متر در فلوم آزمایشگاهی با استفاده از سنگدانه‌هایی به قطر متوسط ۱۴/۵ و ۲۱ میلیمتر انجام گرفت. از خاک رس که از الک شماره ۴۰۰ (۰/۰۳۸ میلیمتر) عبور داده شده بود جهت تولید جریان آب-رسوب استفاده شد. توصیف جزئی رفتار رسوبات ریزدانه چسبنده یک موضوع بسیار پیچیده می‌باشد و شبیه‌سازی حرکت رسوبات چسبنده بطور شدیدی تحت تأثیر خواص ماکروسکوپی از سیستم آب-رسوب می‌باشد. بعد از انجام آزمایشات، نمودار مربوط به هر جدول داده‌ها رسم و مشخص شد که ضریب تغییرات هدایت هیدرولیکی از رابطه نمائی $k = ae^{-bt}$ پیروی می‌کند. سپس با کمک آنالیز ابعادی و استفاده از نرم‌افزار SAS، روابطی برای ضریب تغییرات هدایت هیدرولیکی به دست آمد. ارزیابی این روابط با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی انجام شد و تفاوت مقدار محاسبه‌ای و مقدار مشاهده‌ای بررسی شد و به صورت نمودارهایی نشان داده شد. درصد خطای تخمین محاسبه شده برای این روابط نشان داد که رابطه خطی دارای خطای کمتری نسبت به رابطه لگاریتمی می‌باشد. همچنین حساسیت روابط نسبت به پارامترهای مختلف بررسی شد و مشخص شد که روابط نسبت به پارامتر غلظت حساس‌تر می‌باشند. در انتها نیز با کمک روندیابی سیل در سدهای پاره‌سنگی، هیدروگراف خروجی رسم شده، تأثیر ضریب تغییرات هدایت هیدرولیکی روی هیدروگراف خروجی بررسی و به صورت نمودارهایی نشان داده شد.

واژگان کلیدی: ضریب هدایت هیدرولیکی، سدهای پاره‌سنگی، روندیابی سیل، رابطه دارسی، رسوبات ریزدانه چسبنده

فهرست مطالب

فصل اول : کلیات ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- انتخاب سیل طراحی ۲
۱-۳- کنترل و مهار سیلاب ۳
۱-۴- بررسی روش‌های مهار سیلاب ۳
۱-۵- روش‌های غیر ساختمانی کنترل سیلاب ۴
۱-۶- روش‌های ساختمانی کنترل سیلاب ۴
۱-۷- ضرورت احداث سدهای کوچک ۵
۱-۸- سدهای تأخیری ۶
۱-۹- مزایای استفاده از پاره‌سنگ در احداث سازه‌های هیدرولیکی ۶
۱-۱۰- سدهای پاره‌سنگی (گابیونی)، کاربردها و ویژگی‌ها ۷
۱-۱۱- سدهای پاره‌سنگی با ساختاری نفوذپذیر و متخلخل ۸
۱-۱۲- جریان غیر دارسی ۸
۱-۱۳- اصول و مبانی تحقیق ۹
۱-۱۴- اهداف تحقیق ۱۰
۱-۱۵- نحوه تنظیم و تدوین پایان‌نامه ۱۰
فصل دوم : سابقه تحقیق ۱۲
۲-۱- مقدمه ۱۳
۲-۲- هیدرولیک جریان آرام در محیط‌های متخلخل ۱۳
۲-۲-۱- قانون دارسی ۱۳
۲-۲-۲- حدود اعتبار قانون دارسی ۱۵
۲-۳- هیدرولیک جریان متلاطم در محیط‌های متخلخل ۱۸
۲-۳-۱- معادلات دوجمله‌ای یا معادله فورشهایمر ۲۰
۲-۳-۲- معادلات ارتباط بین فاکتور اصطکاک و عدد رینولدز ۲۹
۲-۳-۳- معادلات نمایی ۳۴
۲-۴- تعیین دبی جریان درون گذر سدهای پاره‌سنگی ۳۶
۲-۴-۱- روش هررا و فلتون ۳۶
۲-۴-۲- روش ویلکینز ۳۷

فهرست مطالب

۲-۴-۳- روش هنسن و همکاران ۳۷
۲-۴-۴- روش سامانی و همکاران ۳۸
الف)- مدل یک بعدی سامانی و همکاران ۳۹
ب)- مدل دو بعدی سامانی و همکاران ۴۰
۲-۴-۵- روش مانئو و همکاران ۴۴
۲-۵- دبی جریان همزمان درون و روگذر مستغرق ۵۴
۲-۶- تحقیق صالحی و همکاران ۵۹
۲-۷- تحقیقات حیدری ۶۵
۲-۸- انتقال رسوبات در محیط‌های متخلخل ۶۹
۲-۸-۱- تحقیقات ساکدیوادیول ۷۰
۲-۸-۲- تحقیقات کانینگهام و همکاران ۷۲
۲-۸-۳- تحقیقات جوی و همکاران ۷۳
۲-۸-۴- تحقیقات شاولچی ۷۵
۲-۸-۵- تحقیقات وو ۷۶
۲-۸-۶- تحقیقات مرادلو ۷۸
۲-۸-۷- تحقیقات عمادی ۸۰
۲-۹- روش‌های روندیابی سیل ۸۳
۲-۹-۱- هیدروگراف (آب‌نمود) ۸۳
۲-۹-۲- روندیابی سیل و زوش‌های آن ۸۵
۲-۹-۲- ۱- روش دینامیکی ۸۸
۲-۹-۲- ۲- روش تقریبی ۸۸
۲-۹-۲- ۲-۱- روش سینماتیکی ۸۹
۲-۹-۲- ۲-۲- روش پخشیدگی ۸۹
۲-۹-۲- ۲-۳- روش هیدرولوژیکی ۹۰
۲-۹-۲-۲-۳-۱- روندیابی ذخیره‌ای ۹۱
۲-۹-۲-۲-۳-۱-۱- روش پالس ۹۱
۲-۹-۲-۲-۳-۱-۲- روندیابی ذخیره‌ای رودخانه ۹۴
۲-۱۰- ضرورت انجام تحقیق و جنبه جدید بودن آن ۹۵
۲-۱۱- جمع بندی ۹۶

فهرست مطالب

فصل سوم : شرح تجهیزات آزمایشگاهی و روش انجام آزمایش‌ها ۹۷
۳-۱- مقدمه ۹۸
۳-۲- وسایل و تجهیزات ۹۸
۳-۲-۱- فلوم شیب پذیر ۹۹
۳-۲-۲- پمپ لجن کش ۱۰۱
۳-۲-۳- مخزن هوایی اختلاط رسوب ۱۰۲
۳-۲-۴- مخزن اندازه‌گیری دبی حجمی ۱۰۲
۳-۲-۵- مخزن زمینی پمپ ۱۰۳
۳-۲-۶- دریچه کشویی تخلیه آب و رسوب از مخزن اندازه‌گیری دبی حجمی ۱۰۴
۳-۲-۷- تجهیزات هم‌زن و اختلاط رسوب ۱۰۵
۳-۲-۸- سرریز کنترل سطح آب در مخزن هوایی ۱۰۶
۳-۲-۹- خطوط لوله، شیرها و اتصالات سیستم تزریق جریان گل آلود ۱۰۷
۳-۲-۱۰- راه پله ۱۰۸
۳-۲-۱۱- راهروی اطراف مخزن ۱۰۸
۳-۳- سنگدانه‌های مورد آزمایش ۱۰۹
۳-۴- مصالح رسوبی ۱۱۱
۳-۵- نمونه سد پاره‌سنگی ۱۱۲
۳-۶- سیستم چرخش آب در فلوم ۱۱۳
۳-۷- وسایل اندازه‌گیری، محدوده کار و دقت تجهیزات ۱۱۴
۳-۷-۱- دبی حجمی ۱۱۴
۳-۷-۲- کرونومتر ۱۱۵
۳-۷-۳- غلظت سنج ۱۱۵
۳-۸- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایش‌ها ۱۱۸
۳-۸-۱- عمق آب ۱۱۸
۳-۸-۲- دبی جریان ۱۲۰
۳-۸-۳- دبی جریان گل‌آلود (جریان آب- رسوب) ۱۲۲
۳-۸-۴- تخلخل نمونه سد ۱۲۲

فهرست مطالب

۳-۸-۵- زاویهٔ ایستائی رسوبات در محیط متخلخل ۱۲۳
۳-۸-۶- درجه حرارت آب ۱۲۳
۳-۹- تحلیل ابعادی ۱۲۳
۳-۹-۱- پارامترهای مؤثر بر جریان همراه با رسوب در سدهای پاره‌سنگی ۱۲۴
۳-۹-۲- آنالیز ابعادی جریان در سدهای پاره‌سنگی ۱۲۵
۳-۱۰-روش انجام آزمایشات ۱۳۱
۳-۱۱- روندیابی سیل در سد پاره‌سنگی ۱۴۳
۳-۱۲- جمع بندی ۱۴۵
فصل چهارم : نتایج آزمایشات و بحث ۱۴۶
۴-۱- مقدمه ۱۴۷
۴-۲- خصوصیات مواد رسوبی و سنگدانه‌های مورد آزمایش ۱۴۷
۴-۳- نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت هیدرولیکی ۱۴۸
۴-۴- نتایج مربوط به تحلیل ابعادی ۱۷۷
۴-۴-۱- تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی با تغییر دبی ۱۸۰
۴-۴-۲- تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی با تغییر اندازه سنگدانه ۱۸۲
۴-۴-۳- تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی با تغییرات عمق ۱۸۳
۴-۵- ارزیابی روابط استخراج شده ۱۸۵
۴-۶- بررسی حساسیت رابطهٔ خطی و لگاریتمی به دست آمده از تحلیل ابعادی و نرم افزار SAS نسبت به پارامترهای مختلف موجود در آن ۱۸۸
۴-۷- روندیابی سیل از درون سد پاره‌سنگی ۱۹۱
۴-۷-۱- نمودارهای مربوط به روندیابی سیل از درون سد پاره‌سنگی ۱۹۲
۴-۸- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج حاصل از سایر تحقیقات انجام گرفته در این زمینه ۱۹۸
۴-۹- جمع بندی ۲۰۱
فصل پنجم :نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۲۰۲
۵-۱- مقدمه ۲۰۳
۵-۲- خلاصه نتایج ۲۰۳
۵-۳- پیشنهادات ۲۰۶
منابع ۲۰۷

فهرست اشکال

شکل ۱-۱.نمونه‌ای از سبد توری‌سیمی..... ۷

شکل ۲-۱. تعیین دبی جریان به روش هنسن و همکاران(Hansen *et al.*, 1995)..... ۳۸

شکل ۲-۲. حجم کنترل دوبعدی (Samani *et al.*, 2003)..... ۴۲

شکل ۲-۳. پروفیل سطح نشت درون سد پاره سنگی (Samani *et al.*, 2003)..... ۴۳

شکل ۲-۴. مقایسه مدل‌های مختلف با مدل‌های یک و دو بعدی (Samani *et al.*, 2003)..... ۴۳

شکل ۲-۵. سرریز پاره‌سنگی تنظیم آب (Michioku *et al.*, 2005)..... ۴۵

شکل ۲-۶. (الف) سرریز پاره‌سنگی، (ب) مدل هله- شاو، (ج): تنگ شدگی ناگهانی در کانال روباز(ریاحی، ۱۳۸۵)..... ۴۸

شکل ۲-۷. خطوط کنتور ε در مقابل (e, f)(Maneo *et al*, 2002)..... ۵۴

شکل ۲-۸. جریان همزمان درون و روگذر مستغرق (Li and Graga, 1998)..... ۵۵

شکل ۲-۹. جریان مستغرق درون و روی سد پاره‌سنگی (Li and Graga, 1998)..... ۵۶

شکل ۲-۱۰. مقایسهٔ نتایج آزمایشگاهی صالحی و همکاران با رابطه استفنسون(۱۹۷۹)_ (شکل الف)..... ۶۰

شکل ۲-۱۱. مقایسهٔ نتایج آزمایشگاهی صالحی و همکاران با رابطه فلتون و هره‌را(۱۹۹۱)_ (شکل ب)..... ۶۱

شکل ۲-۱۲. تعیین مقادیر M و N با استفاده از منحنی فاکتور اصطکاک- عدد رینولدز(صالحی و همکاران، ۱۳۸۲)..... ۶۳

شکل ۲-۱۳. هیدروگراف یک سیل..... ۸۴

شکل ۲-۱۴. نمایش اجزاء هیدروگراف یک سیل..... ۸۵

شکل ۲-۱۵. تغییر هیدروگراف یک سیل در بالادست و پایین دست یک مسیر..... ۸۶

شکل ۳-۱. فلوم شیب پذیر ۱۰۰

شکل ۳-۲.پمپ لجن‌کش..... ۱۰۱

شکل ۳-۳.مخزن اندازه‌گیری دبی حجمی..... ۱۰۳

شکل ۳-۴.مخزن زمینی پمپ..... ۱۰۴

شکل ۳-۵. دریچه کشویی تخلیه آب و رسوب از مخزن اندازه‌گیری دبی حجمی..... ۱۰۵

شکل ۳-۶. سرریز کنترل سطح آب در مخزن هوایی..... ۱۰۶

فهرست اشکال

شکل ۳-۷. مخزن هوایی، راه‌پله و راهروی اطراف مخزن ۱۰۹
شکل ۳-۸. لک‌های مورد استفاده جهت دانه‌بندی مصالح سنگدانه‌ای و سیم‌های توری فلزی برای ساختن نمونه سد پاره‌سنگی ۱۱۰
شکل ۳-۹. سنگدانه‌های مورد استفاده ۱۱۱
شکل ۳-۱۰. الک مورد استفاده جهت دانه بندی مصالح رسوبی و مصالح رسوبی ۱۱۱
شکل ۳-۱۱. منحنی دانه‌بندی مصالح رسوبی ۱۱۲
شکل ۳-۱۲. نمونه سد پاره‌سنگی ۱۱۳
شکل ۳-۱۳. منحنی دبی- اشل مخزن اندازه گیری دبی حجمی ۱۱۴
شکل ۳-۱۴. نمایی از یک غلظت سنج(توربیدتی متر) ۱۱۷
شکل ۳-۱۵. نمودار حاصل از واسنجی دستگاه غلظت سنج ۱۱۷
شکل ۳-۱۶. نمایی از تابلوی پیزومترهای نصب شده در فلوم ۱۱۹
شکل ۳-۱۷. نمایی شماتیک از محل قرارگیری پیزومترها در آزمایشات ۱۱۹
شکل ۳-۱۸. دبی سنج الکترو مغناطیس ۱۲۱
شکل ۳-۱۹. نمودار حاصل از واسنجی دبی‌سنج الکترومغناطیس ۱۲۱
شکل ۳-۲۰. نمای کلی فلوم آزمایشگاهی جهت انجام آزمایشات ۱۳۱
شکل ۳-۲۱. نمایش چگونگی نمونه‌برداری ۱۳۴
شکل ۳-۲۲. نمایش شماتیک دستگاه آزمایش- (۱) ۱۳۵
شکل ۳-۲۳. نمایش شماتیک دستگاه آزمایش- (۲) ۱۳۶
شکل ۳-۲۴. نمایی از نحوهٔ ورود جریان آب خالص به داخل فلوم ۱۳۸
شکل ۳-۲۵. نمایی از ورود جریان آب خالص به نمونه سد ۱۳۸
شکل ۳-۲۶. نمایی از بالادست نمونه سد حین آبگیری (جریان آب خالص) ۱۳۹
شکل ۳-۲۷. نمایی از پایین دست نمونه سد حین آبگیری (جریان آب خالص) ۱۳۹
شکل ۳-۲۸. نمایی از نحوهٔ ورود جریان آب- رسوب به داخل فلوم ۱۴۱
شکل ۳-۲۹. نمایی از ورود جریان آب- رسوب به نمونه سد ۱۴۲
شکل ۳-۳۰. نمایی از بالادست نمونه سد حین آبگیری (جریان آب- رسوب) ۱۴۲
شکل ۳-۳۱. نمایی از پایین دست نمونه سد حین آبگیری (جریان آب- رسوب) ۱۴۳
شکل ۴-۱. نمودار مربوط به جدول (۴-۳) ۱۵۰

فهرست اشکال

شکل ۴-۲. نمودار مربوط به جدول (۴-۴) ۱۵۱
شکل ۴-۳. نمودار مربوط به جدول (۴-۵) ۱۵۲
شکل ۴-۴. نمودار مربوط به جدول (۴-۶) ۱۵۳
شکل ۴-۵. نمودار مربوط به جدول (۴-۷) ۱۵۴
شکل ۴-۶. نمودار مربوط به جدول (۴-۸) ۱۵۵
شکل ۴-۷. نمودار مربوط به جدول (۴-۹) ۱۵۶
شکل ۴-۸. نمودار مربوط به جدول (۴-۱۰) ۱۵۷
شکل ۴-۹. نمودار مربوط به جدول (۴-۱۱) ۱۵۸
شکل ۴-۱۰. نمودار مربوط به جدول (۴-۱۲) ۱۵۹
شکل ۴-۱۱. نمودار مربوط به جدول (۴-۱۳) ۱۶۰
شکل ۴-۱۲. نمودار مربوط به جدول (۴-۱۴) ۱۶۱
شکل ۴-۱۳. نمودار مربوط به جدول (۴-۱۵) ۱۶۲
شکل ۴-۱۴. نمودار مربوط به جدول (۴-۱۶) ۱۶۳
شکل ۴-۱۵. نمودار مربوط به جدول (۴-۱۷) ۱۶۴
شکل ۴-۱۶. نمودار مربوط به جدول (۴-۱۸) ۱۶۵
شکل ۴-۱۷. نمودار مربوط به جدول (۴-۱۹) ۱۶۶
شکل ۴-۱۸. نمودار مربوط به جدول (۴-۲۰) ۱۶۷
شکل ۴-۱۹. نمودار Q^* در مقابل K^* برای $d_{50}=14.5(mm)$ ۱۸۰
شکل ۴-۲۰. نمودار Q^* در مقابل K^* برای $d_{50}=21(mm)$ ۱۸۱
شکل ۴-۲۱. نمودار Q^* در مقابل K^* برای $d_{50}=14.5(mm)$ و $d_{50}=21(mm)$ ۱۸۱
شکل ۴-۲۲. نمودار d در مقابل K برای $d_{50}=21(mm)$ و $d_{50}=14.5(mm)$ ۱۸۲
شکل ۴-۲۳. نمودار i در مقابل K برای $d_{50}=14.5(mm)$ ۱۸۳
شکل ۴-۲۴. نمودار i در مقابل K برای $d_{50}=21(mm)$ ۱۸۴
شکل ۴-۲۵. نمودار i در مقابل K برای $d_{50}=21(mm)$ و $d_{50}=14.5(mm)$ ۱۸۴
شکل ۴-۲۶. نمودار مقایسه مقادیر مشاهده‌ای با مقادیر محاسبه‌ای برای $d_{50}=14.5(mm)$ از رابطه خطی ۱۸۶
شکل ۴-۲۷. نمودار مقایسه مقادیر مشاهده‌ای با مقادیر محاسبه‌ای برای $d_{50}=21(mm)$ از رابطه خطی..... ۱۸۶
شکل ۴-۲۸. نمودار مقایسه مقادیر مشاهده‌ای با مقادیر محاسبه‌ای برای $d_{50}=14.5(mm)$ از رابطه لگاریتمی ۱۸۷

فهرست اشکال

شکل ۴-۲۹. نمودار مقایسه مقادیر مشاهده‌ای با مقادیر محاسبه‌ای برای $d_{50} = 21(mm)$ از رابطه لگاریتمی.. ۱۸۷

شکل ۴-۳۰. نمودار دبی- اشل جریان آب خالص در سدپاره‌سنگی با $d_{50} = 14.5(mm)$ ۱۹۲

شکل ۴-۳۱. نمودار دبی- اشل جریان آب خالص در سدپاره‌سنگی با $d_{50} = 21(mm)$ ۱۹۲

شکل ۴-۳۲. نمودار مربوط به روندیابی سیل در سدپاره‌سنگی با $d_{50} = 14.5(mm)$, C=2 (g/lit)
..... ۱۹۳

شکل ۴-۳۳. نمودارهای مربوط به روندیابی سیل در سدپاره‌سنگی با $d_{50} = 14.5(mm)$ و $C = 2(g / lit)$
و C=5 (g/lit) و C=8 (g/lit) ۱۹۴

شکل ۴-۳۴. نمودار مربوط به روندیابی سیل در سدپاره‌سنگی با $d_{50} = 21(mm)$, C=2 (g/lit)
..... ۱۹۵

شکل ۴-۳۵. نمودارهای مربوط به روندیابی سیل در سدپاره‌سنگی با $d_{50} = 21(mm)$ و $C = 2(g / lit)$
و C=5 (g/lit) و C=8 (g/lit) ۱۹۶

شکل ۴-۳۶. نمودارهای مربوط به روندیابی سیل در سدپاره‌سنگی با $d_{50} = 21(mm)$ و $d_{50} = 14.5(mm)$ و
C=8 (g/lit) ۱۹۷

شکل ۴-۳۷. نقاط مربوط به مقایسه تحقیق مرادلو و تحقیق حاضر..... ۱۹۹

فهرست جداول

جدول ۲-۱. مقادیر عملی R_h و $k_0 R_h^{0.5}$ بر حسب اندازه سنگدانه(Leps, 1973) ۳۵

جدول ۲-۲. خلاصه نتایج مربوط به ارزیابی دقت مدل(حیدری، ۱۳۸۶) ۶۵

جدول ۳-۱. ارقام حاصل از واسنجی دستگاه غلظت سنج ۱۱۶

جدول ۴-۱. مشخصات مواد رسوبی و سنگدانه‌ای ۱۴۸

جدول ۴-۲. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی اولیه ۱۴۹

جدول ۴-۳. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 14.5(mm), C = 2(g/lit), k_0 = 0.000155(m/s)$ ۱۵۰

جدول ۴-۴. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 14.5(mm), C = 2(g/lit), k_0 = 0.000163(m/s)$ ۱۵۱

جدول ۴-۵. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 14.5(mm), C = 2(g/lit), k_0 = 0.000176(m/s)$ ۱۵۲

جدول ۴-۶. ن نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 14.5(mm), C = 5(g/lit), k_0 = 0.000155(m/s)$ ۱۵۳

جدول ۴-۷. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 14.5(mm), C = 5(g/lit), k_0 = 0.000163(m/s)$ ۱۵۴

جدول ۴-۸. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 14.5(mm), C = 5(g/lit), k_0 = 0.000176(m/s)$ ۱۵۵

جدول ۴-۹. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 14.5(mm), C = 8(g/lit), k_0 = 0.000155(m/s)$ ۱۵۶

جدول ۴-۱۰. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 14.5(mm), C = 8(g/lit), k_0 = 0.000163(m/s)$ ۱۵۷

جدول ۴-۱۱. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 14.5(mm), C = 8(g/lit), k_0 = 0.000176(m/s)$ ۱۵۸

جدول ۴-۱۲. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 21(mm), C = 2(g/lit), k_0 = 0.00028(m/s)$ ۱۵۹

فهرست جداول

جدول ۴-۱۳. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 21(mm), C = 2(g/lit), k_0 = 0.000286(m/s)$ ۱۶۰

جدول ۴-۱۴. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 21(mm), C = 2(g/lit), k_0 = 0.00032(m/s)$ ۱۶۱

جدول ۴-۱۵. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 21(mm), C = 5(g/lit), k_0 = 0.00028(m/s)$ ۱۶۲

جدول ۴-۱۶. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 21(mm), C = 5(g/lit), k_0 = 0.000286(m/s)$ ۱۶۳

جدول ۴-۱۷. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 21(mm), C = 5(g/lit), k_0 = 0.00032(m/s)$ ۱۶۴

جدول ۴-۱۸. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 21(mm), C = 8(g/lit), k_0 = 0.00028(m/s)$ ۱۶۵

جدول ۴-۱۹. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 21(mm), C = 8(g/lit), k_0 = 0.000286(m/s)$ ۱۶۶

جدول ۴-۲۰. نتایج آزمایشات ضریب تغییرات هدایت‌هیدرولیکی با $d_{50} = 21(mm), C = 8(g/lit), k_0 = 0.00032(m/s)$ ۱۶۷

جدول ۴-۲۱. رابطه کلی بر حسب غلظت سیال و زمان برای $d = 14.5(mm)$ و $d = 21(mm)$ ۱۷۶

جدول ۴-۲۲. داده‌های مربوط به $d = 14.5(mm)$ ۱۷۸

جدول ۴-۲۳. داده‌های مربوط به $d = 21(mm)$ ۱۷۹

جدول ۴-۲۴. آنالیز حساسیت مربوط به فرمول خطی ۱۸۹

جدول ۴-۲۵. آنالیز حساسیت مربوط به فرمول لگاریتمی ۱۸۹

جدول ۴-۲۶. رتبه‌بندی حساسیت $\frac{k}{k_0}$ نسبت به تغییرات پارامترهای مؤثر ۱۹۰

جدول ۴-۲۷. مقایسه مقادیر پارامترهای مؤثر در تحقیق مرادلو و تحقیق حاضر ۱۹۸

فهرست علائم و نشانه‌ها

نشانه	تعریف	ابعاد
q	شدت جریان	$[LT^{-1}]$
$\tilde{v}$	حجم تجمعی	$[L^3]$
t	زمان	$[T]$
A	سطح مقطع ستون	$[L^2]$
K_s	هدایت هیدرولیکی	$[LT^{-1}]$
H_w	بار هیدرولیکی در نقطه‌ای مشخص	$[L]$
Z	بار ارتفاع در نقطه‌ای مشخص	$[L]$
i_w	شیب هیدرولیکی	بدون بعد
ρ	چگالی سیال	$[ML^{-3}]$
g	شتاب ثقل	$[LT^{-2}]$
μ	لزجت دینامیک سیال	$[ML^{-1}T^{-1}]$
κ	نفوذپذیری ذاتی خاک	$[L^2]$
V	سرعت تخلیه	$[LT^{-1}]$
d	قطر متوسط ذرات خاک	$[L]$
D_s	میانگین حسابی بازشدگی هر دو الک	$[L]$
N_s	تعداد دانه‌ها با قطر معین	بدون بعد
i	گرادیان هیدرولیکی	بدون بعد
a,b	ضرائب ثابت	بدون بعد
n	تخلخل محیط	بدون بعد
d	قطر ذرات تشکیل دهنده محیط متخلخل	$[L]$

فهرست علائم و نشانه‌ها

نشانه	تعریف	ابعاد
υ	لزجت سینماتیک سیال	$\left[L^2T^{-1}\right]$
M_{50}	میانگین جرمی دانه بندی سنگ	بدون بعد
ρ_m	جرم مخصوص مواد محیط متخلخل	$\left[\mathrm{ML}^{-3}\right]$
R_h	شعاع هیدرولیکی محیط متخلخل	بدون بعد
P_f	محیط خیس شده	$\left[L\right]$
V_V	حجم فضای خالی در یک حجم مشخص محیط	$\left[L^3\right]$
S	سطح حفره های خالی در یک حجم مشخص محیط سنگدانه ای	$\left[L^2\right]$
V_t	حجم کنترل شامل محیط متخلخل	$\left[L^3\right]$
e	نسبت پوکی	بدون بعد
A_{MS}	سطح ویژه جرمی	$\left[\mathrm{L}^2\right]$
A_{VS}	حجم ویژه سطحی	$\left[\mathrm{L}^3\right]$
M_R	جرم سنگدانه‌ها	$\left[\mathrm{ML}^{-3}\right]$
ρ_m	جرم مخصوص سنگدانه‌ها	$\left[\mathrm{ML}^{-3}\right]$
h_f	ارتفاع نظیر افت اصطکاک در طول مسیر	$\left[L\right]$
f	ضریب اصطکاک دارسی- ویسباخ	بدون بعد
D	قطر لوله	$\left[L\right]$
R_h	شعاع هیدرولیکی	$\left[L\right]$
V_P	سرعت متوسط جریان در لوله	$\left[LT^{-1}\right]$
L	طول جریان محیط متخلخل	$\left[L\right]$

فهرست علائم و نشانه‌ها

نشانه	تعریف	ابعاد
V_P	متوسط سرعت جریان در لوله	$\left[\mathrm{LT}^{-1}\right]$
C'_w	ضریب ثابت محیط سنگدانه‌ای	بدون بعد
D_{EQ}	قطر معادل	$[L]$
D_{15}	قطری از ذرات که ۱۵ درصد ذرات از آن کوچکترند	$[L]$
D_{50}	قطری از ذرات که ۵۰ درصد ذرات از آن کوچکترند	$[L]$
D_{85}	قطری از ذرات که ۸۵ درصد ذرات از آن کوچکترند	$[\mathrm{L}]$
d_{10}	قطری از ذرات که ۱۰ درصد ذرات از آن کوچکترند	$[\mathrm{L}]$
R_e	عدد رینولدز	بدون بعد
σ	انحراف معیار	بدون بعد
d	میانگین وزنی ذرات	بدون بعد
Δh	اختلاف ارتفاع دو طرف محیط متخلخل (h_f)	$[L]$
L	طول محیط متخلخل	$[L]$
P_i	درصد وزنی ذراتی با قطر d_i	بدون بعد
k_0	ثابت تجربی	$\left[L^{0.5}T^{-1}\right]$
y_{ave}	ارتفاع متوسط پروفیل سطح آب	$[L]$
q	دبی در واحد طول سد	$\left[\mathrm{LT}^{-1}\right]$
N_j	تعداد گره‌ها در یک مقطع عمودی سد	بدون بعد
Δy	فاصله عمودی بین گره‌ها	$[L]$
i_j	گرادیان هیدرولیکی گره j ام	بدون بعد
W	طول سد در عرض رودخانه	$[L]$

فهرست علائم و نشانه‌ها

نشانه	تعریف	ابعاد
u و υ	مؤلفه‌های سرعت در جهات x و y	$\left[\mathrm{LT}^{-1}\right]$
H	هد هیدرولیکی	$[L]$
x و y	مختصه افقی و قائم	بدون بعد
B	عرض کانال	$[L]$
Q	دبی جریان	$\left[\mathrm{LT}^{-1}\right]$
δ	ضریب تصحیح سرعت	بدون بعد
H	عمق جریان	$[L]$
V_S	سرعت ظاهری یا دارسی	$\left[\mathrm{LT}^{-1}\right]$
C	ضریب نیروی دراگ	بدون بعد
D_T	مؤلفه‌های مقاومت جریان در جریان آرام	بدون بعد
D_L	مؤلفه‌های مقاومت جریان در جریان آشفته	بدون بعد
Q_m^{ex}	دبی اندازه‌گیری شده در آزمایش شماره m	$\left[\mathrm{LT}^{-1}\right]$
$Q_m^{th}(e,f)$	دبی محاسباتی برای هر جفت فرضی (e,f)	$\left[\mathrm{LT}^{-1}\right]$
$M_K + M_0$	کل تعداد آزمایش‌ها	بدون بعد
f_d	نیروی دراگ در واحد حجم	$\left[MLT^{-2}\right]$
$\tau(y)$	تنش برشی در کف المان	$\left[ML^{-1}T^{-2}\right]$
$\tau(y+dy)$	تنش برشی در بالای المان	$\left[ML^{-1}T^{-2}\right]$
$P(x)$	کل فشار در سمت چپ المان	$\left[ML^{-1}T^{-2}\right]$
$P(x+dx)$	کل فشار در سمت راست المان	$\left[ML^{-1}T^{-2}\right]$
β	ثابت جریان آشفته	بدون بعد

فهرست علائم و نشانه‌ها

نشانه	تعریف	ابعاد
t	طول اختلاط	$\left[L^2\right]$
u_*	سرعت برشی	$\left[\mathrm{LT}^{-1}\right]$
i_c	گرادیان هیدرولیکی بحرانی	بدون بعد
k_c	ضریب ثابت	بدون بعد
G_s	چگالی نسبی ذرات رسوب	بدون بعد
θ	زاویه شیب کف نسبت به افق	درجه
ϕ	زاویه ایستائی رسوبات داخل محیط متخلخل	درجه
q_s	میزان انتقال رسوب	$\left[ML^{-1}T^{-1}\right]$
ρ_s	چگالی ذرات رسوب	$\left[ML^{-3}\right]$
k'_{sak}	ضریب ثابت	بدون بعد
Q_0	میزان دبی تراوش اولیه از مصالح بستری	$\left[L^3T^{-1}\right]$
Q_t	میزان دبی تراوش در زمان t پس از وارد کردن رسوب	$\left[L^3T^{-1}\right]$
c	غلظت وزنی مواد رسوبی (درصد)	بدون بعد
t_c	ضخامت لایهٔ رسوبی که روی مصالح تشکیل می شود	$\left[L\right]$
d_s	قطر ذرات رسوبی	$\left[L\right]$
q_*	پارامتر انتقال رسوبات	بدون بعد
λ_d	نسبت اندازه ذرات محیط متخلخل به ذرات رسوبی	بدون بعد
S_P	پارامتر شیب	بدون بعد
c_w	غلظت وزنی	$\left[ML^{-3}\right]$
r	مقاومت هیدرولیکی ویژه	$\left[LM^{-1}\right]$

فهرست علائم و نشانه‌ها

نشانه	تعریف	ابعاد
β	مقاومت هیدرولیکی مصالح	$\left[L^{-1}\right]$
σ	رسوب ویژه	بدون بعد
$k(\sigma)$	هدایت هیدرولیکی محیط متخلخل پس از رسوبگذاری	$\left[LT^{-1}\right]$
R_{15}	سبت D_{15} رسوبات به D_{15} مصالح تشکیل دهندهٔ محیط متخلخل	بدون بعد
k_0	هدایت هیدرولیکی اولیه	$\left[LT^{-1}\right]$
Q_c	دبی بحرانی در واحد عرض	$\left[L^2T^{-1}\right]$
I	دبی جریان ورودی	$\left[L^2T^{-1}\right]$
O	دبی جریان خروجی	$\left[L^2T^{-1}\right]$
ΔS	حجم ذخیره در فاصله زمانی موردنظر	$\left[L^{-1}\right]$
Q_s	دبی جریان گل‌آلود	$\left[L^2T^{-1}\right]$
n_{man}	زبری فلوم	بدون بعد
C_1	غلظت در بالادست	$\left[ML^{-3}\right]$
C_2	غلظت در پایین دست	$\left[ML^{-3}\right]$
Z_{fL}	شیب جداره فلوم	بدون بعد

فصل اول