



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

بررسی هیدرولیک جریان در سرریز سدهای زیرزمینی

Hydraulics of Flow over the Weir of Subsurface Dams

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی عمران

گرایش آب

محمد رضا شمس

اساتید راهنما:

دکتر محمد کریم بیرامی

دکتر عبدالرضا کبیری سامانی

بهار ۱۳۸۹

خداوند بزرگ را سپاسگزارم که مرا در انجام این تحقیق مورد لطف و عنایت خویش قرار داد. همچنین از زحمات بی دریغ اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر محمد کریم بیرامی و جناب آقای دکتر عبدالرضا کبیری سامانی که در تمامی مراحل انجام تحقیق، مرا راهنمایی و یاری نمودند، نهایت تشکر و قدردانی را به عمل می آورم و نیز از جناب آقای دکتر حمیدرضا صفوی به سبب راهنمایی هایشان در انجام این تحقیق تشکر می کنم.

محمد رضا شمس

بهار ۱۳۸۹

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است.

چکیده :

امروزه استفاده از آب‌های ذخیره شده در زیر سطح زمین و در لایه‌های آبدار زیرزمینی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در مناطق خشک و یا گرمسیری که دارای آب و هوای موسمی هستند، بایستی در فصول بارانی آب را در زیر سطح زمین ذخیره نمود تا در فصول خشک بتوان از آن استفاده کرد. استفاده از سدهای زیرزمینی به صورت دیواره‌ی آب بند در مسیر جریان در لایه‌های آبدار به منظور ذخیره‌ی آب پشت دیواره‌ی سد یکی از روشهایی است که در سالهای اخیر جهت ذخیره‌ی آب‌های زیرزمینی مورد توجه ویژه قرار گرفته است. بررسی مشخصات هیدروژئولوژیکی منطقه و انتخاب محل مناسب جهت احداث اینگونه سدها همواره مورد نظر متخصصان بوده است. اما تحقیق در مورد جنس بدنه این گونه سدها و تعیین ضخامت و ارتفاع سدهای زیرزمینی نیز در سال‌های اخیر توسط دانشمندان بررسی شده است. موضوعی که در طراحی سدهای زیرزمینی کم‌تر به آن توجه شده است و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، بررسی سرریز در سدهای زیرزمینی است. پیش‌بینی سرریز در سدهای زیرزمینی به منظور خروج آب اضافی از آبخوان ضروری است. در صورت عدم پیش‌بینی سرریز مناسب در سدهای زیرزمینی در هنگام طراحی این گونه سدها و عدم خروج آب اضافی، سطح آب زیرزمینی بالا آمده تا جایی که به سطح زمین می‌رسد و علاوه بر آنکه کاربری سطح زمین را مختل کرده، آسیب‌های جبران‌ناپذیری را به محیط زیست وارد می‌کند. در تحقیق حاضر، تأثیر ابعاد هندسی و مشخصات سرریز بر عبور جریان آب زیرزمینی به پایین دست سد با توجه به مشخصات هیدرودینامیکی آبخوان بالادست مورد مطالعه قرار می‌گیرد. همچنین تأثیر پارامترهای مختلف هیدرولیکی بر میزان دبی عبوری از سرریز در سدهای زیرزمینی بررسی خواهد شد. در این تحقیق یک مدل آزمایشگاهی از آبخوان سدهای زیرزمینی شامل مخزن سد و سرریز سد زیرزمینی ساخته شد. در این مدل آزمایشگاهی تأثیر پارامترهایی نظیر ضریب هدایت هیدرولیکی لایه‌های آبدار، هد در بالادست سرریز سد زیرزمینی، ارتفاع سرریز سد و طول تاج سرریز سد بر میزان دبی عبوری از سرریز سد زیرزمینی در حالت پایدار مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج آزمایشات نشان می‌دهند که با افزایش ضریب هدایت هیدرولیکی مصالح آبخوان، دبی عبوری از سرریز سد افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش ارتفاع سرریز، هد در بالادست سرریز سد و طول تاج سرریز نیز دبی عبوری از سرریز سد افزایش می‌یابد. به منظور بررسی کلیه عوامل مؤثر و تحلیل اثرات آنها بر میزان دبی عبوری از سرریز در سدهای زیرزمینی از نرم‌افزار Seep 3D استفاده شده است. ابتدا نتایج مدل عددی با استفاده از نتایج آزمایشات صحت‌سنجی گردیده و سپس مدل‌های مختلفی از سدهای زیرزمینی در نرم‌افزار Seep 3D ساخته شده و تأثیر پارامترهای مختلف بر دبی عبوری از سرریز سدهای زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌های مدل عددی نیز نشان می‌دهد که ضریب هدایت هیدرولیکی مصالح آبخوان، هد در بالادست سد زیرزمینی و عرض مؤثر در جریان آب‌های زیرزمینی بیشترین تأثیر را بر دبی عبوری از سرریز در سدهای زیرزمینی دارا می‌باشند. در ادامه به منظور بررسی دقیق‌تر تأثیر پارامترها، آنالیز ابعادی بر روی پارامترهای حاکم انجام پذیرفته و در نهایت رابطه‌ای جهت تخمین دبی عبوری از سرریز در سدهای زیرزمینی ارائه شده است.

کلمات کلیدی : آبخوان، سد زیرزمینی، هیدرولیک جریان، سرریز، ضریب هدایت هیدرولیکی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
فهرست اشکال	سیزده
فهرست تصاویر	شانزده
فهرست جداول	هفده
چکیده	۱

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- لایه‌های آبدار	۳
۳-۱- بهره‌گیری از آب‌های زیرزمینی	۵
۴-۱- سدهای زیرزمینی	۶
۱-۴-۱- تعریف سد زیرزمینی	۶
۲-۴-۱- تفاوت سدهای زیرزمینی و سدهای سطحی	۶
۳-۴-۱- انواع سدهای زیرزمینی	۷
۳-۴-۱- الف- به منظور ذخیره‌سازی و یا کنترل سیلاب	۸
۳-۴-۱- ب- به منظور جلوگیری از نفوذ آب شور و پساب	۱۱
۴-۴-۱- مزایای سدهای زیرزمینی	۱۲
۵-۴-۱- معایب سدهای زیرزمینی	۱۳
۶-۴-۱- ساختمان سدهای زیرزمینی	۱۴
۶-۴-۱- الف- بدنه سد	۱۴
۶-۴-۱- ب- تاسیسات بهره برداری	۱۵
۶-۴-۱- ج- تاسیسات بازدید و کنترل	۱۵
۶-۴-۱- د- تاسیسات زهکشی و تخلیه	۱۵
۶-۴-۱- و- تاسیسات تغذیه	۱۵
۷-۴-۱- مکانیابی جهت احداث سد زیرزمینی	۱۶
۵-۱- جمع بندی	۱۷

فصل دوم: مبانی نظری و کارهای پژوهشی مرتبط با آن

۱۹	۱-۲- مقدمه
۱۹	۲-۲- معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی
۱۹	۱-۲-۲- معادله‌ی عمومی جریان آب زیرزمینی در لایه‌ی آبدار آزاد در حالت پایدار
۲۱	۲-۲-۲- معادله‌ی عمومی جریان آب زیرزمینی در لایه‌ی آبدار آزاد در حالت ناپایدار
۲۳	۳-۲- جریان دائمی در لایه‌های آبدار
۲۳	۱-۳-۲- جریان دائمی در لایه‌های آبدار تحت فشار
۲۵	۲-۳-۲- جریان دائمی در لایه آبدار آزاد
۲۶	۴-۲- محیط متخلخل
۲۶	۱-۴-۲- تخلخل خاک
۲۷	۲-۴-۲- آبدهی ویژه و نگهداشت ویژه
۲۸	۳-۴-۲- ضریب ذخیره و ذخیره ویژه
۲۹	۴-۴-۲- ضریب هدایت هیدرولیکی
۲۹	۵-۴-۲- روش‌های اندازه‌گیری ضرایب هدایت هیدرولیکی
۳۰	۶-۴-۲- روش‌های مستقیم
۳۰	۶-۴-۲- الف- روش‌های آزمایشگاهی
۳۲	۶-۴-۲- ب- روش‌های صحرایی
۳۳	۷-۴-۲- روش‌های غیر مستقیم
۳۴	۵-۲- محاسبه‌ی ضریب هدایت هیدرولیکی معادل در یک سیستم n لایه ای
۳۴	۱-۵-۲- حالت جریان افقی
۳۵	۲-۵-۲- حالت جریان قائم
۳۶	۶-۲- پژوهش‌های مرتبط با سدهای زیرزمینی
۴۴	۷-۲- جمع‌بندی

فصل سوم: مدلسازی سدهای زیرزمینی

۴۵	۱-۳- مقدمه
۴۶	۲-۳- مدلسازی آبخوان سدهای زیرزمینی با نرم‌افزار Seep 3D
۴۶	۱-۲-۳- معرفی نرم‌افزار Seep 3D
۴۶	۲-۲-۳- تئوری و روابط حاکم بر نرم‌افزار Seep 3D
۴۶	۲-۲-۳- الف- تابع درصد حجمی آب در خاک
۴۸	۲-۲-۳- ب- تابع ضریب هدایت هیدرولیکی

۴۹	۳-۲-۲-ج- قانون جریان
۴۹	۳-۲-۲-د- اعتبار فرمول داری
۵۰	۳-۲-۲-ه- معادلات مورد استفاده در نرم افزار
۵۲	۳-۲-۳- تعریف هندسی مدل ها در نرم افزار
۵۳	۳-۲-۴- تعریف پروژه در نرم افزار
۵۵	۳-۲-۵- مش بندی مدل در نرم افزار
۵۵	۳-۳- مدل سازی آزمایشگاهی
۵۵	۳-۳-۱- مدل ها و تجهیزات آزمایشگاهی
۵۶	۳-۳-۲- مدل آزمایشگاهی
۵۹	۳-۳-۳- شرح آزمایشات
۵۹	۳-۳-۳-الف- نمونه برداری مصالح و دانه بندی
۶۱	۳-۳-۳-ب- آزمایش ضریب هدایت هیدرولیکی
۶۲	۳-۳-۳-ج- آماده سازی مخزن اصلی
۶۲	۳-۳-۳-د- ریختن مصالح در مخزن
۶۲	۳-۳-۳-و- انجام آزمایشات
۶۲	۳-۳-۳-ه- حالت پایدار در مدل
۶۲	۳-۳-۳-ز- تخمین دبی عبوری از سرریز
۶۲	۳-۳-۳-ح- تغییر هد بالادست سرریز
۶۳	۳-۳-۳-ط- تغییر عرض سرریز
۶۳	۳-۳-۳-ل- تغییر ارتفاع سرریز
۶۳	۳-۳-۳-ی- تغییر مصالح اصلی
۶۳	۳-۴- پارامترهای مربوط به مدل آزمایشگاهی
۶۴	۳-۵- پارامترهای مربوط به مدل ساخته شده در نرم افزار
۶۵	۳-۶- جمع بندی

فصل چهارم: تجزیه و تحلیل نتایج

۶۶	۴-۱- مقدمه
۶۷	۴-۲- صحت سنجی نتایج مدل عددی
۶۷	۴-۳- بررسی نتایج مربوط به مدل آزمایشگاهی
۶۷	۴-۳-۱- بررسی تاثیر ضریب هدایت هیدرولیکی (K) بر دبی عبوری از سرریز
۶۸	۴-۳-۲- بررسی تاثیر هد بالادست سد زیرزمینی (H) بر دبی عبوری از سرریز

- ۶۸-۳-۳-۴ بررسی تأثیر طول تاج سرریز (b) بر میزان دبی عبوری از سرریز.....
- ۷۰-۴-۳-۴ بررسی تأثیر ارتفاع سرریز (P) بر میزان دبی عبوری از سرریز.....
- ۷۰-۵-۳-۴ رابطه‌ی پیشنهادی تخمین دبی عبوری از سرریز سد زیرزمینی.....
- ۷۱-۶-۳-۴ توابع خطا.....
- ۷۲-۴-۴ بررسی نتایج مربوط به مدل عددی مشابه مدل آزمایشگاهی ساخته شده.....
- ۷۳-۵-۴ مقایسه‌ی نتایج مدل آزمایشگاهی و مدل عددی.....
- ۷۵-۱-۵-۴ بررسی علل اختلاف نتایج عددی و آزمایشگاهی.....
- ۷۶-۶-۴ بررسی تأثیر ضریب هدایت هیدرولیکی مصالح پایین دست سد زیرزمینی بر دبی عبوری از سرریز.....
- ۷۷-۷-۴ بررسی تأثیر هد در پایین دست سد زیرزمینی بر دبی عبوری از سرریز.....
- ۷۸-۸-۴ بررسی تأثیر ضخامت لایه آبدار (T) بر دبی عبوری از سرریز.....
- ۷۹-۹-۴ بررسی تأثیر جنس بدنه سد بر دبی عبوری از سرریز.....
- ۸۰-۱۰-۴ هندسه نمونه‌های ساخته شده توسط نرم افزار Seep 3D.....
- ۸۱-۱۱-۴ بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر دبی عبوری از سرریز در سدهای زیرزمینی.....
- ۸۱-۱-۱۱-۴ بررسی تأثیر ضریب هدایت هیدرولیکی آبخوان (K) بر دبی عبوری از سرریز.....
- ۸۲-۲-۱۱-۴ بررسی تأثیر عرض مؤثر در جریان (B) بر میزان دبی عبوری از سرریز.....
- ۸۳-۳-۱۱-۴ بررسی تأثیر طول تاج سرریز سد زیرزمینی (b) بر دبی عبوری از سرریز.....
- ۸۵-۴-۱۱-۴ بررسی تأثیر ارتفاع سرریز سد زیرزمینی (P) بر دبی عبوری از سرریز.....
- ۸۶-۵-۱۱-۴ بررسی تأثیر پارامتر (L) بر دبی عبوری از سرریز.....
- ۸۸-۶-۱۱-۴ بررسی تأثیر بار کل (هد) در بالادست سد (H) بر دبی عبوری از سرریز.....
- ۸۸-۷-۱۱-۴ بررسی تأثیر ضخامت سد زیرزمینی (t) بر دبی عبوری از سرریز.....
- ۹۰-۱۲-۴ آنالیز ابعادی و تحلیل نتایج.....
- ۹۰-۱-۱۲-۴ تحلیل ابعادی و پارامترهای مؤثر.....
- ۹۰-۲-۱۲-۴ تحلیل نتایج.....
- ۹۰-۲-۱۲-۴ الف- بررسی پارامتر (H/b).....
- ۹۱-۲-۱۲-۴ ب- بررسی پارامتر (B/b).....
- ۹۲-۲-۱۲-۴ ج- بررسی پارامتر (P/b).....
- ۹۲-۲-۱۲-۴ د- بررسی پارامتر (L/P).....
- ۹۳-۲-۱۲-۴ ه- بررسی پارامتر (t/P).....
- ۹۳-۲-۱۲-۴ و- بررسی پارامتر عدد «رینولدز» (Re).....
- ۹۴-۲-۱۲-۴ ز- بررسی پارامتر عدد «ویر» (We).....
- ۹۵-۳-۱۲-۴ روابط تخمین دبی عبوری از سرریز.....

۹۵.....	۴-۱۲-۴- توابع خطا
۹۸.....	۴-۱۲-۵- آنالیز حساسیت
۹۹	۴-۱۲-۶- مقایسه‌ی نتایج مدل‌های آزمایشگاهی با رابطه‌ی به‌دست آمده
۱۰۳.....	۴-۱۳- جمع‌بندی

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱۰۴.....	۵-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
۱۰۵.....	۵-۱-۱- نتایج مدل آزمایشگاهی
۱۰۵.....	۵-۱-۲- نتایج مدل عددی
۱۰۷.....	۵-۲- پیشنهادها
۱۰۸	مراجع

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

فصل اول: مقدمه و کلیات

- شکل (۱-۱) - لایه‌ی آبدار آزاد در دره‌های آبرفتی ۴
- شکل (۲-۱) - لایه‌ی آبدار تحت فشار ۵
- شکل (۳-۱) - سد زیرزمینی و سد سطحی ۷
- شکل (۴-۱) - شمای کلی سد زیر سطحی ۸
- شکل (۵-۱) - نمونه‌های مختلف سدهای زیر سطحی از نظر جنس بدنه سد ۹
- شکل (۶-۱) - شمای کلی سد آبرفتی ۱۰
- شکل (۷-۱) - نمونه‌های مختلف سدهای آبرفتی از نظر جنس بدنه سد ۱۰
- شکل (۸-۱ الف) - جریان آب زیرزمینی در منطقه‌ای ساحلی، قبل از احداث سد زیر زمین ۱۱
- شکل (۸-۱ ب) - جریان آب زیرزمینی در منطقه‌ای ساحلی، بعد از احداث سد زیر زمینی ۱۱
- شکل (۹-۱) - اجزای بدنه‌ی سد زیرزمینی ۱۴

فصل دوم: مبانی نظری و کارهای پژوهشی مرتبط با آن

- شکل (۱-۲) - حجم کوچکی از لایه‌ی آبدار آزاد به مساحت $\Delta x \Delta y$ و ارتفاع h ۲۰
- شکل (۲-۲) - جریان دایمی یک بعدی در لایه‌ی آبدار تحت فشار ۲۴
- شکل (۳-۲) - جریان دایمی یک بعدی در لایه‌ی آبدار آزاد ۲۵
- شکل (۴-۲) - کاهش آبدهی ویژه با کاهش قطر ذرات خاک در لایه‌ی آبدار ۲۷
- شکل (۵-۲) - آزمایش نفوذپذیری با بار ثابت ۳۰
- شکل (۶-۲) - آزمایش نفوذپذیری با بار افتان ۳۱
- شکل (۷-۲) - سیستم چند لایه‌ای با ضرایب هدایت هیدرولیکی متفاوت (جریان افقی) ۳۴
- شکل (۸-۲) - سیستم چند لایه‌ای با ضرایب هدایت هیدرولیکی متفاوت (جریان عمودی) ۳۵
- شکل (۹-۲) - پلان مدل‌های ساخته شده‌ی مربوط به آبخوان مستطیلی توسط اوندر و یلماز ۳۸
- شکل (۱۰-۲) - تغییرات تراز سطح آب در طول محور x در شرایط طبیعی ۳۹
- شکل (۱۱-۲) - تغییرات تراز سطح آب در طول محور x پس از احداث دیواره‌ی سد در $x=1700 m$ ۳۹
- شکل (۱۲-۲) - تغییرات تراز سطح آب در طول محور x پس از احداث دیواره‌ی سد در $x=500 m$ ۳۹
- شکل (۱۳-۲) - پلان مدل‌های ساخته شده در نرم افزار Seep 3D توسط مقیم ۴۰
- شکل (۱۴-۲) - ماکزیمم بار کل روی سد در ارتفاع‌های مختلف سد ۴۱
- شکل (۱۵-۲) - ارتفاع آب روی سد در ضخامت‌های مختلف سد ۴۳

فصل سوم: مدلسازی سدهای زیرزمینی

- شکل (۱-۳) - درصد حجمی آب در خاک به صورت تابعی از فشار آب حفره‌ای می‌باشد ۴۷
- شکل (۲-۳) - ضریب هدایت هیدرولیکی خاک به صورت تابعی از فشار آب حفره‌ای می‌باشد ۴۸
- شکل (۳-۳) - حوضه مدل شده توسط بلوک‌های شش وجهی ۵۲
- شکل (۴-۳) - مشاهده نتایج پس از اجرا در نرم‌افزار ۵۴
- شکل (۵-۳) - نمونه‌ی مش‌بندی شده‌ی یک حوزه مدل شده در نرم‌افزار ۵۵
- شکل (۶-۳) - نمایی از دیواره و کف مخزن شیشه‌ای ۵۶
- شکل (۷-۳) - نمایی شماتیک از مدل آزمایشگاهی ۵۹
- شکل (۸-۳) - منحنی دانه‌بندی سه نوع ماسه مورد آزمایش ۶۰
- شکل (۹-۳) - پلان و مقطع مدل‌های ساخته شده در نرم‌افزار بر اساس پارامترهای مختلف ۶۴

فصل چهارم: تجزیه و تحلیل نتایج

- شکل (۱-۴) - تغییرات دبی در مقابل ضریب هدایت هیدرولیکی، به ازای هدهای متفاوت در مدل آزمایشگاهی ۶۷
- شکل (۲-۴) - تغییرات دبی در مقابل هد، به ازای ضرایب هدایت هیدرولیکی متفاوت ۶۸
- شکل (۳-۴) - تغییرات دبی در مقابل هد، به ازای طول تاج‌های متفاوت سرریز در مدل آزمایشگاهی ۶۹
- شکل (۴-۴) - تغییرات دبی در مقابل طول تاج سرریز، به ازای هدهای متفاوت در مدل آزمایشگاهی ۶۹
- شکل (۵-۴) - تغییرات دبی در مقابل هد، به ازای ارتفاع‌های متفاوت سرریز در مدل آزمایشگاهی ۷۰
- شکل (۶-۴) - مقایسه مقادیر تخمینی رابطه (۱-۴) و مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه ۷۱
- شکل (۷-۴) - مدل ساخته شده در نرم‌افزار مشابه مدل آزمایشگاهی ۷۲
- شکل (۸-۴) - مش‌بندی مدل ساخته شده در نرم‌افزار مشابه مدل آزمایشگاهی ۷۳
- شکل (۹-۴) - مقایسه‌ی نتایج مدل آزمایشگاهی و عددی ۷۴
- شکل (۱۰-۴) - مقایسه‌ی مقادیر تخمینی رابطه‌ی (۱-۴) و نتایج مدل عددی ۷۴
- شکل (۱۱-۴) - اثر ضریب هدایت هیدرولیکی مصالح پایین دست سد بر دبی عبوری از سرریز ۷۶
- شکل (۱۲-۴) - اثر هد در پایین دست سد بر دبی عبوری از سرریز ۷۷
- شکل (۱۳-۴) - اثر ضخامت لایه‌ی آبدار بر دبی عبوری از سرریز ۷۹
- شکل (۱۴-۴) - اثر جنس بدنه سد بر دبی عبوری از سرریز ۸۰
- شکل (۱۵-۴) - تغییرات دبی در مقابل ضریب هدایت هیدرولیکی، به ازای هدهای متفاوت ۸۱
- شکل (۱۶-۴) - تغییرات دبی در مقابل هد، به ازای عرض‌های متفاوت مؤثر در جریان ۸۲
- شکل (۱۷-۴) - تغییرات دبی در مقابل عرض مؤثر در جریان، به ازای هدهای متفاوت ۸۳
- شکل (۱۸-۴) - تغییرات دبی در مقابل هد، به ازای طول تاج متفاوت سرریز ۸۴
- شکل (۱۹-۴) - تغییرات دبی در مقابل طول تاج سرریز به ازای هدهای متفاوت ۸۴

- شکل (۲۰-۴) - تغییرات دبی در مقابل هد، به ازای ارتفاع‌های متفاوت سرریز ۸۵
- شکل (۲۱-۴) - تغییرات دبی در مقابل ارتفاع سرریز، به ازای هدهای متفاوت ۸۶
- شکل (۲۲-۴) - تغییرات دبی در مقابل هد، به ازای L متفاوت ۸۷
- شکل (۲۳-۴) - تغییرات دبی در مقابل L ، به ازای هدهای متفاوت ۸۷
- شکل (۲۴-۴) - تغییرات دبی در مقابل هد، به ازای ضریب هدایت هیدرولیکی متفاوت ۸۸
- شکل (۲۵-۴) - تغییرات دبی در مقابل هد، به ازای ضخامت‌های متفاوت سد زیرزمینی ۸۹
- شکل (۲۶-۴) - تغییرات دبی در مقابل ضخامت سد زیرزمینی، به ازای هدهای متفاوت ۸۹
- شکل (۲۷-۴) - تغییرات پارامتر (Q/KbH) در مقابل پارامتر بدون بعد (H/b) ۹۱
- شکل (۲۸-۴) - تغییرات پارامتر (Q/KbH) در مقابل پارامتر بدون بعد (B/b) ۹۱
- شکل (۲۹-۴) - تغییرات پارامتر (Q/KbH) در مقابل پارامتر بدون بعد (P/b) ۹۲
- شکل (۳۰-۴) - تغییرات پارامتر (Q/KbH) در مقابل پارامتر بدون بعد (L/P) ۹۲
- شکل (۳۱-۴) - تغییرات پارامتر (Q/KbH) در مقابل پارامتر بدون بعد (t/P) ۹۳
- شکل (۳۲-۴) - تغییرات پارامتر (Q/KbH) در مقابل عدد (Re) ۹۴
- شکل (۳۳-۴) - تغییرات پارامتر (Q/KbH) در مقابل عدد (We) ۹۴
- شکل (۳۴-۴) - مقایسه مقادیر تخمینی رابطه (۴-۱۴) و مقادیر اندازه‌گیری شده ۹۷
- شکل (۳۵-۴) - مقایسه مقادیر تخمینی رابطه (۴-۱۵) و مقادیر اندازه‌گیری شده ۹۷
- شکل (۳۶-۴) - مقایسه مقادیر تخمینی رابطه (۴-۱۷) و مقادیر اندازه‌گیری شده ۹۸
- شکل (۳۷-۴) - مقایسه مقادیر تخمینی رابطه (۴-۱۷) و مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه ۹۹

فهرست تصاویر

صفحه

عنوان

فصل اول: مقدمه و کلیات

تصویر (۱-۱) - یک سد زیرزمینی، در حال احداث ۱۷

فصل سوم: مدلسازی سدهای زیرزمینی

تصویر (۱-۳) - نمای کلی مخزن ساخته شده و پایه و کلاف فلزی ۵۷

تصویر (۲-۳) - نمایی از تابلوی پیژومترها ۵۷

تصویر (۳-۳) - مخزن فولادی جهت ذخیره آب ۵۸

تصویر (۴-۳) - آزمایش دانه‌بندی توسط الک‌های استاندارد ۶۰

تصویر (۵-۳) - آزمایش تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی با بار ثابت ۶۱

فهرست جداول

صفحه

عنوان

فصل دوم: مبانی نظری و کارهای پژوهشی مرتبط با آن

جدول (۱-۲) - تخلخل معمول در خاک‌ها و سنگ‌ها.....	۲۶
جدول (۲-۲) - مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی برای انواع خاک‌ها.....	۲۹
جدول (۳-۲) - پارامترهای مربوط به ۵ مدل ساخته شده در نرم افزار Seep 3D توسط مقیم.....	۴۱
جدول (۴-۲) - ماکزیمم بار کل روی سد در ضرایب هدایت هیدرولیکی متفاوت لایه آبدار.....	۴۲
جدول (۵-۲) - ارتفاع آب روی سد در ضخامت‌های مختلف سد.....	۴۲
جدول (۶-۲) - ماکزیمم بار کل روی سد در دبی‌های مختلف.....	۴۳

فصل سوم: مدلسازی سدهای زیرزمینی

جدول (۱-۳) - اعتبار فرمول داریسی با توجه به وضعیت جریان و مقدار عدد رینولدز.....	۴۹
جدول (۲-۳) - شماره‌ی الک‌های مورد استفاده در آزمایش دانه‌بندی.....	۵۹
جدول (۳-۳) - نتایج آزمایش تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی به روش بار ثابت.....	۶۱
جدول (۴-۳) - پارامترهای مختلف مورد آزمایش در مدل آزمایشگاهی.....	۶۳
جدول (۵-۳) - پارامترهای مختلف مورد آزمایش در مدل نرم افزاری.....	۶۵

فصل چهارم: تجزیه و تحلیل نتایج

جدول (۱-۴) - پارامترهای نظیر مدل آزمایشگاهی در نرم‌افزار.....	۷۲
جدول (۲-۴) - روابط به‌دست آمده و مقادیر توابع خطا.....	۹۶

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

آب‌های زیرزمینی بخشی از آب قابل استحصال از زیر سطح زمین است که از طریق چاه‌ها، گالری‌ها و قنوت‌ها به سطح زمین انتقال داده شده و یا به طور طبیعی توسط چشمه‌ها از درون زمین تخلیه می‌گردد. آب‌های زیرزمینی منبع عمده‌ی تأمین آب شیرین در بسیاری از مناطق دنیا به ویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک، مانند ایران است. حجم آب‌های شیرین ذخیره شده در زیر سطح زمین به مراتب بیشتر از کل ذخایر آب‌های سطحی موجود در رودخانه‌ها، مخازن و دریاچه‌های طبیعی و مصنوعی است.

بررسی کمی و شناسایی آب‌های زیرزمینی در هر منطقه کار نسبتاً پیچیده‌ای می‌باشد، زیرا اولاً جریان آب زیرزمینی به مقدار زیادی تحت تأثیر زمین‌شناسی محل بوده و ثانیاً به دلیل ارتباط هیدرولیکی آب‌های زیرزمینی با آب‌های سطحی در سیکل هیدرولوژی، تخمین حجم و حرکت آب زیرزمینی پیچیده می‌باشد. بایستی توجه داشت که تمامی آبی که در زیر سطح زمین است به عنوان آب زیرزمینی اطلاق نمی‌گردد. به عنوان مثال وقتی چاهی در زمین حفر می‌گردد، رطوبت اولیه‌ای که در ابتدا مشاهده می‌گردد، که به طور آزاد به داخل چاه نشت نمی‌کند، آب زیرزمینی نیست. آب زیرزمینی از عمقی شروع می‌شود که آب به طور آزاد به داخل چاه نشت می‌کند. از آنجا که فشار داخل چاه تقریباً فشار اتمسفر است، بنابراین فشار در سطح لایه‌ی آبدار زیرزمینی همان فشار اتمسفر است و در زیر سطح لایه‌ی آبدار بیشتر از فشار اتمسفر است. منطقه‌ی بین سطح لایه‌ی آبدار

زیرزمینی تا سطح زمین را منطقه‌ی تهویه^۱ یا غیر اشباع^۲ می‌نامند که در این منطقه مقدار کمی آب وجود داشته و توسط ذرات خاک و یا نیروی موئینگی نگه داشته می‌شود. اصطلاح منطقه‌ی تهویه به مراتب مناسب‌تر از منطقه‌ی غیر اشباع می‌باشد، زیرا که ممکن است بخشی از منطقه‌ی تهویه واقعاً اشباع شده باشد و فقط فشار آب در آن کمتر از فشار هوا باشد، همانند آب موئینه‌ای که در بالای سطح آب زیرزمینی به ویژه در خاک‌های ریزدانه وجود دارد و جزء منطقه‌ی آب زیرزمینی محسوب نشده و آب منطقه‌ی تهویه است. همچنین بکار بردن اصطلاح منطقه‌ی آب زیرزمینی مناسب‌تر از اصطلاح منطقه‌ی اشباع می‌باشد، زیرا که ممکن است در این منطقه نیز حباب‌هایی از هوا به دام افتاده باشد. بر این اساس فشار معادل اتمسفر، مرز جداکننده‌ی منطقه‌ی تهویه از منطقه‌ی آب زیرزمینی است [۱].

۱-۲- لایه‌های آبدار

به سازندهای^۳ زمین‌شناسی که به اندازه‌ی کافی نفوذپذیر بوده و حجم آب قابل توجهی را در خود ذخیره می‌نمایند، لایه‌ی آبدار یا آبخوان^۴ گویند. مصالح تشکیل‌دهنده‌ی این گونه سازندها عموماً شن و ماسه‌ی تحکیم نیافته‌اند که غالباً در دره‌های آبرفتی، بستر رودخانه‌های قدیمی و اطراف سواحل یافت می‌گردند. انواع لایه‌های آبدار عبارتند از [۱ و ۲]:

الف) لایه‌ی آبدار آزاد یا نامحدود^۵:

لایه‌های آبدار آزاد همانند یک مخزن آب در محیط متخلخل عمل می‌کنند. در این جا هیچ گونه لایه‌ی رسی یا مصالح نفوذناپذیر دیگری در سطح آب زیرزمینی وجود نداشته و از این رو سطح آب به طور آزاد در اثر تغذیه و یا تخلیه بالا و پایین می‌رود. سطح بالای لایه‌ی آبدار که فشار آن نیز معادل فشار هواست، سطح ایستایی نامیده می‌شود. سطح ایستایی معادل عمق آب در چاهی است که در لایه‌ی آبدار حفر می‌گردد. اصطلاح دیگر ایستایی، سطح آزاد می‌باشد که از معادل کلمه‌ی یونانی چاه گرفته شده است. در بالای سطح ایستایی، منطقه‌ی تهویه قرار دارد که فشار آب در آن کمتر از فشار هوا می‌باشد. مرز پایینی لایه‌ی آبدار را یک لایه با جنس غیر قابل نفوذتر از لایه‌ی آبدار تشکیل می‌دهد. این لایه‌ی غیر قابل نفوذ معمولاً بافت رسی یا شیل، سنگ آهک و یا سنگ بستر می‌باشد. لایه‌های آبدار آزاد معمولاً در دره‌های آبرفتی، سواحل، توده‌های شنی و نهشته‌های یخی شکل می‌گیرند و ضخامتی از چند متر تا چندین صد متر دارد. در شکل (۱-۱) یک نمونه لایه‌ی آبدار آزاد در دره‌ی آبرفتی به صورت شماتیک نشان داده شده است.

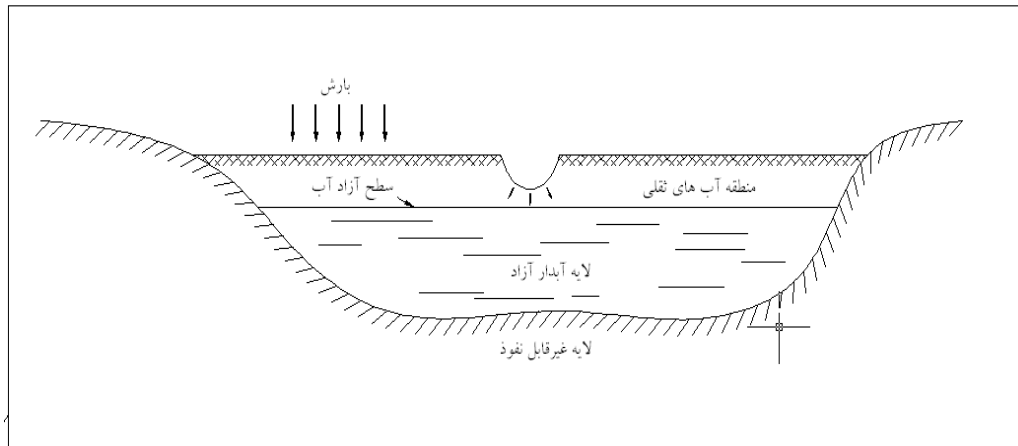
1 Vadose zone

2 Unsaturated zone

3 Formation

4 Aquifer

5 Unconfined aquifer



شکل (۱-۱) - لایه‌ی آبدار آزاد در دره‌های آبرفتی [۱]

ب) لایه‌ی آبدار تحت فشار یا محدود^۶:

لایه‌ی آبدار تحت فشار یک لایه با مصالح با تخلخل زیاد است که بین دو لایه با نفوذ پذیری کم نظیر رس، شیل و یا سنگ آهک محصور گردیده است. اگر لایه‌ی تحت فشار اساساً غیر قابل نفوذ باشد، به نام لایه‌ی آبدار نازا^۷ نامیده می‌شود. اگر لایه‌ی آبدار به اندازه کافی نفوذپذیر بوده تا آب را به طور عمودی انتقال دهد، ولی نفوذپذیری افقی آن برای انتقال آب کم باشد، لایه‌ی آبدار ناتراوا^۸ یا لایه‌ی آبدار نیمه تحت فشار نامیده می‌شود. تغذیه‌ی لایه‌های آبدار تحت فشار غالباً از طریق بارشی است که به صورت نشتاب در بالادست به لایه‌ی آبدار نفوذ می‌کند.

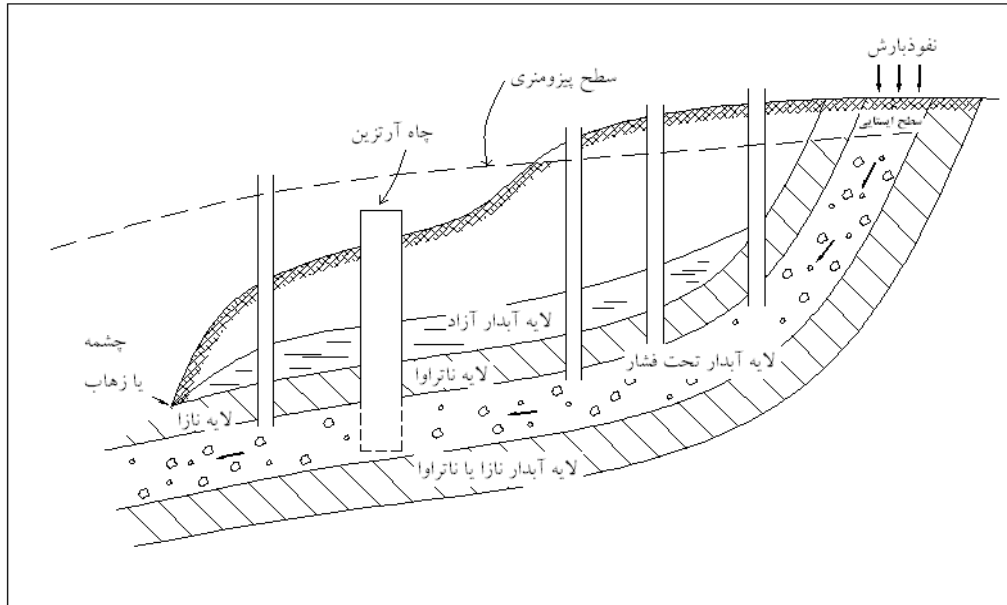
لایه‌ی آبدار تحت فشار کاملاً توسط آب زیرزمینی پر شده و سطح ایستایی آزادی ندارد. فشار در لایه‌های آبدار تحت فشار با استفاده از سطح پیزومتریک، که عبارتست از سطح معادل آب در لوله یا پیزومتری که در لایه‌ی آبدار نصب گردیده، نشان داده می‌شود. چنانچه سطح پیزومتریک در لایه‌ی آبدار تحت فشار بالاتر از سطح زمین در محل حفر چاه باشد، آب به صورت آزاد و بدون نیاز به پمپاژ از چاه خارج می‌گردد. چنین چاهی را چاه آرتزین می‌نامند، که نام چاهی است که در منطقه آرتوز، یکی از استان‌های شمال فرانسه در قرن هیجدهم حفر گردیده و این پدیده اولین بار در آن مشاهده شده است.

هنگامی که آب زیرزمینی از لایه‌ی آبدار به صورت تحت فشار پمپاژ می‌گردد، سطح پیزومتریک به مرور پایین می‌افتد که اگر این سطح از لایه‌ی محدودکننده بالایی، پایین‌تر رود، لایه‌ی آبدار عملاً آزاد خواهد شد. در شکل (۲-۱)، لایه‌ی آبدار تحت فشار نشان داده شده است.

6 Confined aquifer

7 Aquiclude

8 Aquitard



شکل (۱-۲) - لایه‌ی آبدار تحت فشار [۱]

پ) لایه‌ی آبدار نشتی^۹:

لایه‌ی آبداری است که آب از آن تراوش نماید و در یک سمت لایه، طبقه‌ی نیمه نفوذپذیر قرار دارد.

۱-۳- بهره‌گیری از آب‌های زیرزمینی

در حالی که ۷۰٪ کره‌ی زمین را آب فراگرفته است، تنها ۲/۵٪ از آن را آب‌های شیرین تشکیل می‌دهد و ۷۰٪ از آب‌های شیرین نیز به صورت یخ در ارتفاعات و قطب‌ها می‌باشند. کمتر از یک درصد از آب‌های شیرین کره‌ی زمین به صورت چشمه، رودخانه و منابع آب زیرزمینی با هزینه‌ای مناسب قابل دسترسی است و باقیمانده نیز در قسمت‌های عمیق زمین متمرکز است که در حال حاضر استفاده از آن مقرون به صرفه نمی‌باشد. همان‌گونه که گفته شد یکی از منابع ذخیره‌ی آب شیرین، لایه‌های آبدار می‌باشد. لایه‌های آبدار، لایه‌های اشباع شده‌ای در زمین هستند که به اندازه کافی آب در خود ذخیره می‌کنند.

در سال‌های اخیر، استفاده از آب ذخیره شده در زیر سطح زمین و در لایه‌های آبدار زیرزمینی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این مسأله در مناطقی که دارای آب و هوای خشک یا گرمسیری می‌باشند و همچنین در مناطقی که دارای آب و هوای بارانی موسمی هستند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به این منظور بایستی آب را در زیر سطح زمین و در آبخوان ذخیره کرد تا بتوان در فصل خشک با استخراج آب از زیر سطح زمین با مشکل کم

9 Leaky aquifer

آبی مبارزه نمود. یکی از روش‌هایی که در سال‌های اخیر جهت ذخیره‌ی هرچه بیشتر آب در آبخوان‌های زیرزمینی مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از سدهای زیرزمینی می‌باشد. این گونه سدها را می‌توان با استفاده از آب بند^۱ در مسیر لایه‌های آبدار ایجاد نمود [۳].

۱-۴- سدهای زیرزمینی

۱-۴-۱- تعریف سد زیرزمینی

سد زیرزمینی سازه‌ای است که جلو جریان آب زیرزمینی را گرفته و باعث بالا آمدن آب در زیر زمین می‌شود. سد زیر زمینی نیز مانند سدهای سطحی نقش ذخیره‌سازی آب را به کمک سازه‌ی بدنه‌ی سد ایفا می‌کند. ولی سدهای زیرزمینی در مقایسه با سدهای سطحی تفاوت‌هایی نیز دارند که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود.

۱-۴-۲- تفاوت سدهای زیرزمینی و سدهای سطحی

همان‌گونه که اشاره شد سدهای زیرزمینی علاوه بر اینکه در ایفای نقش اصلی که همان ذخیره‌سازی آب به منظور استفاده در مواقع ضروری می‌باشد، همانند سدهای سطحی عمل می‌کند، تفاوت‌هایی را نیز با این گونه سدها دارند که به اختصار بیان می‌شود [۴].

الف) سد زیرزمینی، سازه‌ای جهت ذخیره‌سازی آب زیرزمینی:

سدهای سطحی نقش ذخیره‌سازی آب‌های سطحی را به عهده دارند. این سدها در مسیر رودخانه‌های پر آب احداث می‌شوند و آب رودخانه‌ها را در سطح زمین ذخیره می‌کنند. ولی سدهای زیرزمینی وظیفه ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی را برعهده دارند به‌طوری‌که سدهای زیرزمینی آب‌های زیرزمینی موجود در عمق کم را ذخیره می‌کنند. زیرا ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی که در اعماق زمین قرار دارند، نیازمند احداث سدهای زیرزمینی در مقیاس‌های بزرگ می‌باشد.

ب) سد زیرزمینی، سازه‌ای که در زیر زمین ساخته می‌شود:

به منظور ذخیره‌سازی آب‌های زیر زمینی، سازه‌ی سد زیرزمینی بایستی در زیر سطح زمین ساخته شود ولی سدهای سطحی بر روی سطح زمین ساخته می‌شوند. هرچند در حالتی که سد زیرزمینی جهت ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی در عمق کم احداث می‌شود (مانند آب‌های زیرسطحی در بستر رودخانه‌ها)، ممکن است قسمتی از بدنه سد بر روی سطح زمین نمایان شود.