

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی

مقایسه اثر تدریجی افزایش رسوب و دیوار آب بند بر میزان نشت از فونداسیون سدهای خاکی (مطالعه موردی سد بیدواز اسفراین)

نگارنده: سارا دانشمند

استاد راهنما

دکتر احمد احمدی

استاد مشاور

مهندس مریم ضیائی

تیر ماه ۱۳۹۹

شماره: ۱۳۹۹، ۴، ۲۹
تاریخ: ۱۳۹۹، ۴، ۲۹

باسم تعالی



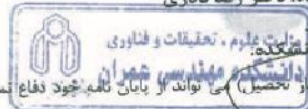
فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای سارا دانشمند با شماره دانشجویی ۹۶۰۶۴۵۴ رشته مهندسی عمران گرایش آب و سازه های هیدرولیکی تحت عنوان مقایسه اثر قدریجی افزایش رسوب و دیوار آب بند بر میزان نشت از فونداسیون سدهای خاکی (مطالعه موردی سد بیدواز اسفراین) که در تاریخ ۱۳۹۹/۴/۱۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹ - ۱۸
 ج) درجه خوب: نمره ۱۷/۹۹ - ۱۶ د) درجه متوسط: نمره ۱۵/۹۹ - ۱۴
 ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد
 نوع تحقیق: نظری عملی

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر احمد احمدی	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم			
۳- استاد مشاور	مهندس مریم شیانی		
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مهدی گلی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر رامین امینی	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر رمضان واتعی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر رضا نادری



تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:
 تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در صورت مجوز تحصیلات تکمیلی) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم بہ:

پدرم

کوہی استوار و حامی من در طول تمام زندگی

مادرم

سنگ صوری کہ النہای زندگی بہ من آموخت

خواہرم

دخوشی ہمیشگی ام در زندگی

شکر و قدردانی

سپاس خدای بزرگ را که مریاری رساند تا بتوانم این مقطع تحصیلی را به پایان رسانده و گامی در راستای اعتلای علم بردارم.

از استاد راهنمای گرامر تقدیرم جناب آقای دکتر احمدی و مشاور گرامی سرکار خانم ضیائی که وجودشان همیشه قوتی برای انجام کارهایم بوده است و بدون شک انجام این پایان نامه بدون کمک و راهنمایی های ارزنده آن ها امکان پذیر نبوده است، کمال شکر را دارم.

در انتها از جناب آقای مهندس شعبانپور و جناب آقای مهندس تختیاری که با در اختیار گذاشتن اطلاعات سد خاکی بیدواز اسفراین، مراد انجام این تحقیق یاری کردند قدردانی می نمایم.

تعمیر نامه

اینجانب سارا دانشمند دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مقایسه اثر افزایش تدریجی رسوب و دیوار آب بند بر میزان نشست از فونداسیون سدهای خاکی (مطالعه موردی سد بیدواز اسفراین) تحت راهنمایی جناب آقای دکتر احمدی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

پدیده رسوب گذاری به دلیل کم شدن حجم مفید مخزن، ناپایداری سد و ضررهای اقتصادی یکی از مواردیست که همواره مورد مطالعه و بررسی پژوهشگران و مهندسان بوده است. علاوه بر این پدیده، مساله نشت در سد خاکی به دلیل بالا بودن گرادیان هیدرولیکی و متخلخل بودن بدنه و پی سد و با توجه به مسائل اقتصادی، ضروری و مهم می باشد. برای جلوگیری از نشت آب از فونداسیون سد خاکی، سد را آب بندی می کنند که این امر اگر چه به مقدار زیادی از نشت فونداسیون می کاهد اما هزینه های قابل توجهی دارد. در پدیده رسوب گذاری، رسوبات وارد شده به مخزن به تدریج روی یکدیگر انباشته شده و ضمن افزایش تراکم رسوبات قبلی، بر ضخامت رسوب و کاهش نفوذپذیری کف مخزن تاثیر دارند به گونه ای که شاید بتوان انتظار داشت، پس از چند سال محدود عملا نفوذپذیری کف مخزن بسیار ناچیز گردد، که در این حالت عملا سیستم های آب بندی پی، دیگر نقشی در کاهش نشت ندارد. در این تحقیق مدلسازی توسط $seep/w$ برای سد خاکی بیدواز انجام شد و تحلیل برای چهار حالت وجود دیوار آب بند و رسوب، وجود دیوار آب بند و بدون رسوب، بدون دیوار آب بند و با رسوب و با آب بند کوتاه و با رسوب انجام و با یکدیگر مقایسه شد. با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل در نرم افزار و هزینه های ساخت دیوار آب بند و مقدار آب نشت یافته از پی سد، با فرض هدر رفت تمامی آب نشت یافته از پی در حالت بدون آب بند و وجود رسوب و با در نظر گرفتن قیمت آب ۱۲۰۰ تومان برای هر متر مکعب و مقایسه هزینه ها با یکدیگر مشخص شد که با حذف دیوار آب بند در هزینه ها صرفه جویی بسیاری می شود.

کلمات کلیدی: نشت، رسوب، دیوار آب بند، سد خاکی بیدواز، $seep/w$

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جداول	ل
فهرست شکل ها	م
فصل اول: کلیات	
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- ضرورت و اهداف تحقیق	۲
۱-۳- روش تحقیق	۴
۱-۴- ساختار پایان نامه	۵
فصل دوم: مفاهیم اولیه و پیشینه تحقیق	
۲-۱- مقدمه	۸
۲-۲- سدهای خاکی	۸
۲-۲-۱- تعریف	۸
۲-۲-۲- انواع سدهای خاکی	۹
۲-۲-۲-۱- سدهای همگن	۹
۲-۲-۲-۲- سدهای ناحیه بندی شده (ناهمگن)	۹
۲-۲-۲-۳- سدهای دیافراگمی	۱۰
۲-۲-۳- دلایل استفاده روزافزون از سدهای خاکریزه ای	۱۰
۲-۳- تراوش در سدهای خاکی	۱۱
۲-۴- اثرات نامطلوب تراوش	۱۱
۲-۵- تحلیل جریان	۱۲
۲-۵-۱- روش المان محدود	۱۵
۲-۶- روش های کاهش تراوش آب از داخل فونداسیون سد خاکی	۱۷
۲-۶-۱- تزریق	۱۷
۲-۶-۲- دیوار جداکننده بتنی	۲۰

۲۱	..... ۲-۶-۳-دیوار جداکننده خاکی (به کمک ترانشه و گل حفاری)
۲۳	..... ۲-۶-۴-پوشش غیرقابل نفوذ بالادست
۲۳	..... ۲-۶-۵-چاه‌های زهکش
۲۴	..... ۲-۷-۷-دیوار آب بند بتن پلاستیک
۲۵	..... ۲-۸-رسوب گذاری مخازن سدها
۲۶	..... ۲-۹-مطالعات پیشین

فصل سوم: معرفی نرم افزار seep/w

۳۲	..... ۳-۱-مقدمه
۳۲	..... ۳-۲-معادله لاپلاس
۳۳	..... ۳-۳-معرفی نرم افزار
۳۶	..... ۳-۴- نحوه ایجاد مدل
۳۷	..... ۳-۴-۱- تنظیمات اولیه صفحه نمایش
۳۹	..... ۳-۴-۲- انتخاب نوع تحلیل و معیارهای همگرایی
۴۰	..... ۳-۴-۳- تعیین خصوصیات فیزیکی مدل
۴۱	..... ۳-۴-۳-۱- خاک اشباع (Saturated Only)
۴۲	..... ۳-۴-۳-۲- خاک اشباع / غیر اشباع (Saturated / Unsaturated)
۴۳	..... ۳-۴-۳-۳- خاک غیر قابل نفوذ (Interface)
۴۴	..... ۳-۵-۱- مشخص کردن نقاط
۴۴	..... ۳-۵-۲- ترسیم خط ها
۴۵	..... ۳-۵-۳- ترسیم ناحیه ها
۴۵	..... ۳-۵-۴- اختصاص دادن Material به ناحیه
۴۶	..... ۳-۵-۵- مش بندی
۴۶	..... ۳-۵-۶- اختصاص شرایط مرزی
۴۸	..... ۳-۵-۷- قرائت و اندازه گیری دبی
۵۰	..... ۳-۶- اجرای مدل
۵۰	..... ۳-۷- مشاهده نتایج
۵۲	..... ۳-۸- بررسی صحت عملکرد نرم افزار

فصل چهارم: روش تحقیق و مدل سازی سد

۵۸	۱-۴-مقدمه
۵۸	۲-۴-معرفی سد بیدواز
۵۸	۱-۲-۴- کلیات پروژه سد بیدواز
۵۹	۲-۲-۴-سیمای کلی طرح
۶۱	۳-۲-۴-محل و موقعیت طرح
۶۱	۴-۲-۴-راه‌های دسترسی به طرح
۶۲	۵-۲-۴-حجم آب ورودی
۶۳	۶-۲-۴-رسوب
۶۴	۷-۲-۴-بدنه سد
۶۵	۸-۲-۴-آب بندی پی
۶۵	۹-۲-۴-مصالح سد
۶۶	۱۰-۲-۴-مشخصات سطح و حجم مخزن سد
۶۸	۳-۴-محاسبات
۷۰	۱-۳-۴-محاسبات متوسط رسوب و متوسط حجم آب
۷۲	۲-۳-۴-محاسبات مربوط به حجم و ارتفاع رسوبات و آب و نیز طول رسوبات در امتداد رودخانه
۷۴	۳-۳-۴-نفوذپذیری اشباع مصالح
۷۵	۴-۴-مدل سازی در نرم افزار
۷۶	۱-۴-۴-مدل سازی سد با حضور آب بند و بدون رسوب
۷۶	۱-۱-۴-۴-تعریف مشخصات مدل
۷۶	۲-۱-۴-۴-ترسیم هندسه مدل
۷۶	۳-۱-۴-۴-معرفی مشخصات مصالح
۷۹	۴-۱-۴-۴-تخصیص مصالح
۷۹	۵-۱-۴-۴-مش بندی
۸۱	۶-۱-۴-۴-اعمال شرایط مرزی
۸۱	۷-۱-۴-۴-تعیین مقطع اندازه گیری دبی
۸۲	۸-۱-۴-۴-تحلیل مدل
۸۳	۲-۴-۴-مدل سازی سد بدون آب بند و حضور رسوب
۸۴	۳-۴-۴-مدل سازی سد با آب بند و حضور رسوب

۴-۴-۴-مدل سازی سد با حضور آب بند کوتاه و حضور رسوب ۸۵

فصل پنجم: نتایج و بحث

۵-۱-مقدمه ۸۸

۵-۲-مدل سازی با آب بند و بدون رسوب ۸۸

۵-۳-مدل سازی بدون آب بند و با حضور رسوب ۹۰

۵-۴-مدل سازی با آب بند و حضور رسوب ۹۲

۵-۵-مدل سازی با آب بند کوتاه و با حضور رسوب ۹۴

۵-۶-جمع بندی نتایج ۹۶

۵-۷-مطالعات اقتصادی ۱۰۰

۵-۷-۱-هزینه ساخت دیوار آب بند ۱۰۰

۵-۷-۲-قیمت آب ۱۰۱

۵-۸-نتیجه گیری ۱۰۱

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱-مقدمه ۱۰۴

۶-۲-جمع بندی و نتیجه گیری ۱۰۴

۶-۳-پیشنهادات برای توسعه تحقیق ۱۰۵

مراجع ۱۰۶

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۴. مشخصات مخزن سد خاکی بیدواز.....	۵۹
جدول ۲-۴. حجم آب ورودی ۴۴ ساله سد بیدواز بر حسب میلیون مترمکعب	۶۳
جدول ۳-۴. مشخصات سطح و حجم مخزن.....	۶۷
جدول ۴-۴. محاسبه حجم رسوب و حجم آب (میلیون مترمکعب).....	۷۲
جدول ۴-۵. ارتفاع و حجم رسوب و حجم آب	۷۴
جدول ۴-۶. اندازه موثر و دانه بندی مصالح.....	۷۵
جدول ۵-۱. نتایج تحلیل مدل در ۵ سال با آب بند و بدون رسوب.....	۸۸
جدول ۵-۲. نتایج تحلیل مدل در ۵ سال اول بدون آب بند و با حضور رسوب	۹۰
جدول ۵-۳. نتایج تحلیل مدل در ۵ سال اولیه با آب بند و حضور رسوب	۹۲
جدول ۵-۴. نتایج تحلیل مدل در ۵ سال اولیه حالت آب بند کوتاه و رسوب.....	۹۴
جدول ۵-۵. جمع بندی نتایج.....	۹۶
جدول ۵-۶. هزینه ساخت دیوار آب بند	۱۰۰
جدول ۶-۱. جمع بندی نتایج کلی نشت	۱۰۴

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۶	شکل ۱-۲. مقطع عرضی سد.....
۱۷	شکل ۲-۲. المان بندی سد.....
۱۷	شکل ۳-۲. بزرگنمایی شبکه اجزا محدود
۱۸	شکل ۴-۲. ترتیب اجرای دیوارهای ساخته شده با ملات
۱۹	شکل ۵-۲. رابطه میان نوع خاک پی و نوع دوغابی که می‌توان در آن تزریق نمود
۲۰	شکل ۶-۲ جزئیات اصولی لوله تزریق به روش منچتز
۲۱	شکل ۷-۲ مراحل اجرای دیوار جداکننده بتنی.....
۲۲	شکل ۸-۲ نحوه اجرای دیوار جداکننده خاکی.....
۲۲	شکل ۹-۲ محدوده دانه بندی خاکریز دیوار جداکننده خاکی در سد خانکوبان.....
۲۳	شکل ۱۰-۲ پتوی ناتراوا در بالادست سد.....
۲۶	شکل ۱۱-۲ نمای شماتیک رسوب گذاری در مخزن سد.....
۳۷	شکل ۱-۳. صفحه اولیه نرم افزار Seep/w.....
۳۸	شکل ۲-۳. تعیین اندازه صفحه کار جهت مدل سازی.....
۳۸	شکل ۳-۳. انتخاب سیستم واحدی، محدوده ابعاد افقی و قائم صفحه و وزن مخصوص آب.....
۳۹	شکل ۴-۳. تعیین نوع تحلیل تراوش از پنجره Type و انتخاب اعداد سعی و خطا و مقدار خطای انتخابی در هر گام...
۴۰	شکل ۵-۳. تعریف مصالح جدید.....
۴۱	شکل ۶-۳. تعریف خاک در شرایط اشباع.....
۴۲	شکل ۷-۳. جعبه keyIn Material برای خاک اشباع/غیراشباع.....
۴۳	شکل ۸-۳. جعبه conductivity Functions.....
۴۴	شکل ۹-۳. تعریف مشخصات خاک غیر قابل نفوذ.....
۴۵	شکل ۱۰-۳. پنجره Draw Materials برای اختصاص مصالح به ناحیه ها.....
۴۶	شکل ۱۱-۳. پنجره Mesh Properties از نوار Draw برای مش بندی.....
۴۷	شکل ۱۲-۳. اختصاص شرایط مرزی هیدرولیکی.....

۴۸	..... شکل ۳-۱۳. تعریف شرایط مرزی هیدرولیکی
۴۹	..... شکل ۳-۱۴. رسم Flux sections با استفاده از مختصات نقاط
۴۹	..... شکل ۳-۱۵. رسم Flux Sections با استفاده از نشانگر موس
۵۰	..... شکل ۳-۱۶. منوی Draw Contours برای انتخاب کنتور ها
۵۲	..... شکل ۳-۱۷. پنجره Draw Garph برای رسم نمودارهای مختلف
۵۳	..... شکل ۳-۱۸. مقطع سد خاکی همگن
۵۴	..... شکل ۳-۱۹. نمونه مدل شده
۵۵	..... شکل ۳-۲۰. دبی خروجی در مقطع seepage face
۶۰	..... شکل ۴-۱. سیمای کلی طرح
۶۲	..... شکل ۴-۲. موقعیت راه دستیابی به محل سد بیدواز
۶۴	..... شکل ۴-۳. مقطع عرضی سد و مصالح آن
۶۵	..... شکل ۴-۴. پوش دانه بندی مصالح
۶۶	..... شکل ۴-۵. پوش دانه بندی مصالح
۶۸	..... شکل ۴-۶. نمودارهای سطح و حجم بر حسب ارتفاع
۶۹	..... شکل ۴-۷. مقطع عرضی سد بیدواز
۷۰	..... شکل ۴-۸. مقطع طولی سد
۷۶	..... شکل ۴-۹. ترسیم نقاط، خطوط و ناحیه بندی سد
۷۷	..... شکل ۴-۱۰. مشخصات مصالح اشباع
۷۸	..... شکل ۴-۱۱. مشخصات مصالح اشباع/غیر اشباع
۷۹	..... شکل ۴-۱۲. تخصیص مصالح
۸۰	..... شکل ۴-۱۳. مش بندی مدل
۸۱	..... شکل ۴-۱۴. اعمال شرایط مرزی
۸۲	..... شکل ۴-۱۵. تعیین مقطع اندازه گیری دبی
۸۳	..... شکل ۴-۱۶. تحلیل در مقطع ۱ نیمسال ۱
۸۴	..... شکل ۴-۱۷. تحلیل در مقطع ۱
۸۴	..... شکل ۴-۱۸. تحلیل در مقطع ۱

- شکل ۴-۱۹. تحلیل در مقطع ۱..... ۸۵
- شکل ۵-۱. نمودار تغییرات نشت از پی حالت با آب بند بدون رسوب..... ۹۷
- شکل ۵-۲. نمودار تغییرات نشت از پی حالت بدون آب بند و با رسوب..... ۹۸
- شکل ۵-۳. نمودار تغییرات نشت از پی حالت با آب بند و با رسوب..... ۹۸
- شکل ۵-۴. نمودار نشت از پی حالت با آب بند کوتاه و با رسوب..... ۹۹
- شکل ۵-۵. نمودار تغییرات نشت نسبی..... ۹۹
- شکل ۵-۶. رگرسیون خطی نشت با رسوب..... ۱۰۲

فصل اول:

کلیات

۱-۱- مقدمه

ایران کشوری کم آب است که در صورت عدم برنامه ریزی و استفاده بهینه از منابع آبی کشور به ویژه آب‌های سطحی با بحران کم آبی مواجه خواهد شد لذا مهمترین هدف سد سازی مهار آب‌های سطحی و مدیریت بهینه از منابع آبی کشور جهت تأمین نیازهای اساسی مردم می‌باشد.

به دلیل نقش موثر سدهای خاکی در تامین نیازهای آبی و نیز ایجاد خطرات بالقوه برای جوامع پایین دست آن‌ها، مسائل مربوط به ایمنی سدهای خاکی ضمن ساخت و نیز در دوران بهره برداری از اهمیت خاصی برخوردار است. یکی از مهم ترین عوامل تخریب سدهای خاکی مسئله تراوش در پی سدها می‌باشد که این مسئله هم به لحاظ مقدار اتلاف آب و هم به لحاظ پایداری و به طور کلی از جهات اقتصادی و اجتماعی حائز اهمیت می‌باشد. حرکت آب در شالوده سد که زه نامیده می‌شود، هم به لحاظ محاسبه مقدار اتلاف آب و هم به لحاظ محاسبه فشار آب در هر نقطه، محاسبه ضخامت و طول زهکش‌ها حائز اهمیت بسیاری است. از آن جایی که سدها به ندرت بر روی زمین ناتراوا ساخته می‌شوند، در اغلب موارد جریان آب زیرزمینی وجود داشته و نشت آب بر سوددهی و کارائی سد، کاملاً اثر می‌گذارد. چنانچه کنترل کافی بر روی فرار آب ذخیره شده در پشت سدها از پی وجود نداشته باشد، می‌تواند باعث خرابی سد شود. بنابراین آنالیز تراوش در طراحی یک سد خاکی از لحاظ ایمنی سد نیز مهم می‌باشد. با توجه به خشکی آب و هوای مناطق کشور و کمبود آب در بسیاری از مناطق آن و همچنین عدم بهره برداری مناسب از منابع، نیاز روز افزونی در جهت مطالعه خواص و چگونگی حرکت و کنترل آب احساس می‌شود. در این میان نقش سدها در کنترل و ذخیره سازی و هدایت صحیح آب برجسته است.

۱-۲- ضرورت و اهداف تحقیق

نشت و تراوش از سازه‌های آبی و لایه‌های طبیعی زمین در محیط سد یک مسئله بسیار مهم است که باعث افزایش هزینه‌های زهکشی، آسیب رساندن به محیط زیست به خاطر نشست زمین، رخ دادن پایدینگ، کاهش

آب مخازن و انتقال مواد آلوده می‌شود. با توجه به آمار بدست آمده در حدود ۳۰ درصد از خرابی‌های سدهای خاکی ناشی از تخریب حاصل از نشت آب است، از اینرو یکی از ضروری‌ترین تحلیل‌ها که در طراحی بسیاری از اجزای سد تاثیرگذار می‌باشد، تحلیل تراوش است. با توجه به مطالب ذکر شده اهمیت یک آنالیز تراوش دقیق در طراحی سد پررنگتر می‌شود.

سدها عموماً در نزدیکی محل سکونت انسان‌ها احداث می‌شوند، خرابی یک سد نه تنها از نظر اقتصادی زیانبار است بلکه تهدید بزرگی برای جان افراد ساکن در پایین دست نیز می‌باشد. با همه تدابیری که در گذشته برای جلوگیری از تخریب سدهای خاکی و تامین ایمنی آنها به عمل آمده، اما تاکنون تعداد زیادی سد خاکی تخریب و موجب ایجاد خسارات جانی و مالی بسیار گردیده است. از این رو یکی از ضروری‌ترین تحلیل‌ها که در طراحی بسیاری از اجزای سد تاثیرگذار می‌باشد تحلیل تراوش است. با توجه به مطالب ذکر شده، اهمیت یک آنالیز تراوش دقیق در طراحی سد پر رنگتر می‌شود. لذا از مهم‌ترین مسائل مطرح در طراحی سدهای خاکی تخمین مقدار دبی نشت از بدنه، پی و تکیه گاه‌های سد بوده و ارائه راهکارهایی است که علاوه بر کاهش نشت به پایداری سد نیز کمک کند از اهمیت زیادی برخوردار است.

روش‌های مختلفی برای کنترل تراوش از طریق فونداسیون وجود دارد. روشی که برای یک پروژه مناسب باشد بستگی به عوامل فراوانی دارد، ولی به طور کلی باید از ایمنی خاکریز مطمئن بوده و مسائل اقتصادی را نیز در نظر داشت. از جمله این روش‌ها احداث پرده آب بند و هم چنین تاثیر تدریجی افزایش رسوب است. هدف از احداث پرده آب بند کاهش نفوذپذیری پی می‌باشد. تاثیر تدریجی افزایش رسوب باعث کاهش تدریجی نفوذپذیری کف و هم چنین کاهش تدریجی نشت آب می‌گردد.

هدف از انجام این پایان نامه مقایسه اثر تدریجی رسوب و دیوار آب بند بر میزان نشت از فونداسیون سد خاکی بیدواز اسفراین می‌باشد که توسط نرم افزار seep/w انجام می‌شود.

۱- چرا در این تحقیق، انباشت تدریجی رسوبات با احداث دیوار آب بند مقایسه گردیده است؟

انباشته شدن رسوبات در پشت سد در سال‌های بهره برداری ممکن است باعث کم شدن نشت از فونداسیون گردد که تنها هزینه آن، بهای آب هدررفته در سال‌های اولیه است اما احداث آب بند هزینه‌های سنگینی دارد.

۲- در این تحقیق، مدل سازی در نرم افزار در چند سال اولیه و در چند حالت انجام شده است؟
پیش بینی می شود که در حدود ۵ سال اولیه، رسوبات به اندازه ای باشد که بتواند نشت از فونداسیون را کاهش دهد. این تحقیق در ۴ حالت به شرح زیر انجام گردیده است:

حالت ۱- مدل سازی با حضور آب بند و بدون رسوب

حالت ۲- مدل سازی با حضور آب بند و با رسوب

حالت ۳- مدل سازی بدون حضور آب بند و با رسوب

حالت ۴- مدل سازی با آب بند کوتاه و با رسوب

۱-۳- روش تحقیق

در این تحقیق از نرم افزار seep/w استفاده شده است. این نرم افزار یک مدل عددی می باشد که می تواند فرآیند واقعی فیزیکی نشت آب را به صورت ریاضی شبیه سازی کند. نرم افزار seep/w از مجموعه نرم افزارهای Geo studio مربوط به بررسی شرایط تراوش و جریان آب در خاک است.

با توجه به میزان آورد رسوب، پخش آن، آورد رودخانه و برنامه ریزی منابع آب در هر نیم سال، ارتفاع آب و ارتفاع رسوبات در هر نیم سال از ۵ سال اولیه بهره برداری محاسبه شده و مقدار نشت آب از پی در حالت های وجود رسوبات با دیوار آب بند و بدون دیوار آب بند محاسبه می گردد.

از آنجا که این محاسبات در فضای دو بعدی صورت می گیرد، با توجه به مقطع عرضی دره، تعدادی مقطع برای سد خاکی در نظر گرفته شده و برای هر فاصله ای از عرض دره، یک مقطع به عنوان مقطع موثر انتخاب می شود، لذا مقدار نشت آب برای کل سد به دست می آید. از مقایسه میزان نشت آب از پی برای حالت های مختلف، بررسی اقتصادی احداث پرده آب بند و هزینه هدررفت آب در حالت بدون دیوار آب بند، معین می گردد. کدامیک ارزش اقتصادی بیشتری دارد.

۱-۴- ساختار پایان نامه

پایان نامه حاضر به ۶ فصل تفکیک شده است. در فصل اول به کلیات و اهداف تحقیق پرداخته شده است. در فصل دوم به پدیده رسوب گذاری و نشت از سدهای خاکی و هم چنین کارهای انجام شده توسط محققین پیشین در این زمینه پرداخته شده است.

در فصل سوم به معرفی معادله لاپلاس و حل تحلیلی آن در مساله نشت و سپس به حل عددی آن در نرم افزار و نحوه کار و مدل سازی با نرم افزار seep/w پرداخته شده است و در انتها تشریح و تایید نرم افزار صورت پذیرفته است.

فصل چهارم پس از بیان و ارائه مشخصات و خصوصیات مخزن سد بیدواز مقاطع انتخابی جهت مدل سازی معرفی شده و تحلیل لازم روی مقاطع یاد شده و در حالت های مختلف به کمک نرم افزار انجام شده است. نتایج تحلیلی که از مدل سازی مقاطع در نرم افزار به دست آمده در فصل پنجم آورده شده و ضمن ارائه مسائل اقتصادی طرح، بررسی ها و تجزیه و تحلیل های لازم انجام پذیرفته است.

و نهایتاً در فصل ششم، نتیجه گیری نهایی و پیشنهادات برای توسعه تحقیق، ارائه شده است.

فصل دوم:

مفاهیم اولیه و پیشینه تحقیق

۲-۱-مقدمه

در این فصل به معرفی سد خاکی، مفهوم تراوش در سد خاکی، راه‌های کنترل نشت از پی سد، رسوب گذاری مخازن سدها پرداخته و هم چنین مطالعات پیشین را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۲-۲-سدهای خاکی

۲-۲-۱:تعریف

به طور کلی سدی که بدنه آن از مصالح خاکی یا سنگریز یا از هر دو ساخته شود به نام سد خاکریز نامیده می‌شود سدهای خاکریزهای^۱ به دو دسته مهم سدهای خاکی^۲ و سدهای سنگریزه‌ای^۳ تقسیم می‌شوند. این تقسیم‌بندی مطلق نیست و ممکن است سدهایی وجود داشته باشند که در آن‌ها از هر دو نوع مصالح استفاده شده باشد. اگر عمده مصالح آن از خاک باشد، سد خاکی نامیده می‌شود [۱].

سدهای خاکی از روزهای اولیه بشر وجود داشتند. احداث سدهای خاکی به منظور تنظیم و ذخیره آب معمول بوده است هم چنین این سدها به دلیل در دسترس بودن مصالح مورد نیاز از رایج‌ترین نوع سدها می‌باشند.

هدف هسته سد خاکی جلوگیری از نشت آب از بالادست به سمت پایین دست می‌باشد. از این رو انتخاب مصالح هسته برای عملکرد مناسب سد یک چالش بزرگ است. بنابراین یکی از راه‌های کنترل نشت سد خاکی، استفاده از مصالح مناسب برای هسته سد می‌باشد.

^۱ -Embankment dam

^۲ -Earth dam

^۳ -Rockfill dam

۲-۲-۲ انواع سدهای خاکی

از دیدگاه تکنیک و روش ساخت، سدهای خاکی دو گروه هستند که تقریباً تمامی آنها در گروه غلتکی (کوبیدنی) قرار دارند و تعدادی در گروه هیدرولیکی و نیمه هیدرولیکی طبقه بندی می‌شوند. منظور از سدهای غلتکی اینست که ساخت سد با روش کوبیدن خاک که بوسیله غلتک است صورت می‌گیرد، که معمولاً در لایه‌های ۱۵ تا ۲۲ سانتیمتری در هر نوبت تراکم کوبیده می‌شوند. منظور از روش هیدرولیکی اینست که بنا شدن سد (جابجائی مواد و قرار گرفتن آنها در محل) با کمک آب انجام می‌گیرد و در ضمن جدا شدن آب از خاک، نوعی طبقه‌بندی طبیعی در دانه بندی خاک صورت می‌گیرد که برای سد مناسب می‌باشد، یعنی دانه های درشت‌تر در کناره‌ها و دانه های ریزتر در وسط سد قرار می‌گیرند.

از دیدگاه همگنی بدنه سد، می‌توان سدهای خاکی را به سه دسته کلی تقسیم کرد:

۱. سدهای همگن ۲. سدهای ناهمگن یا ناحیه بندی شده ۳. سد دیافراگمی [۲]

۲-۲-۲-۱ سدهای همگن

هر سدی که تمام بدنه آن از یک نوع مصالح ساخته شده باشد همگن نامیده می‌شود.

۲-۲-۲-۲ سدهای ناحیه بندی شده (ناهمگن)

سد ناهمگن از معمول‌ترین نوع سدهای خاکی است. در چنین سدهایی از مصالح رسی برای ساخت هسته استفاده شده و بقیه قسمت‌های سد را با استفاده از مصالح متخلخل با مقاومت بالا که توسط فیلترهایی از هسته جدا می‌شوند، می‌سازند. در این نوع، نقش آب بند کردن بدنه سد به عهده مغزه است و نقش استحکام و پایداری را عمدتاً پوسته سد ایفا می‌کند.

۲-۲-۳ سدهای دیافراگمی

در این نوع سدها، تمام بدنه از مواد درشت دانه یا مخلوط ساخته می‌شود و فقط بخشی که نقش آب بند را دارد به صورت دیوار یا پرده غیرقابل نفوذ در بدنه سد تعبیه می‌گردد که ممکن است به صورت دیافراگم مرکزی یا در دامنه بالادست به صورت یک دیافراگم مایل باشد.

۲-۲-۳ دلایل استفاده روزافزون از سدهای خاکریزه ای

دلایل متعددی برای استفاده از سدهای خاکریزه‌ای وجود دارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. مناسب بودن برای دامنه‌ی وسیعی از عرض دره از دره‌های عریض تا گلوگاه‌های با شیب‌های دامنه نسبتاً

تند

۲. مناسب بودن برای طیف وسیعی از وضعیت شالوده از بستر سنگی تا نهشته‌های نرم با قابلیت فشردگی

یا خاک نسبتاً نفوذپذیر

۳. امکان استفاده از مصالح طبیعی که از منابع قرضه‌ی نزدیک محل به دست می‌آید.

۴. قابلیت انعطاف طراحی برای انواع مختلف مصالح از مصالح خاکی تا مصالح سنگی

۵. قابلیت ماشینی کردن عملیات اجرایی

۶. عدم نیاز به تکنولوژی و مهارت‌های نسبتاً بالا جهت اجرا [۱]

با توجه به دلایل بالا و اینکه سدهای خاکی امروزه زیاد به کار می‌روند، مهندسان و محققان بررسی زیادی

روی این سدها انجام داده‌اند. که در ادامه به دو بحث مهم نشت و رسوب گذاری در این گونه سدها و پژوهش‌های

انجام شده توسط محققان و مهندسان پرداخته می‌شود.

۲-۳- تراوش^۱ در سدهای خاکی

یکی از مسائل مهمی که در طراحی سدهای خاکی به آن توجه می‌شود، پدیده نشت است که باید به گونه‌ای کنترل و محدود شود تا از اتلاف آب و ایجاد اثرات نامطلوب حاصل از آن نظیر آب شستگی جلوگیری شود. یکی از مهم‌ترین مسائل در طراحی سدهای خاکی که در مواردی احداث سد را در یک منطقه غیر قابل توجه می‌نماید، مقدار فرار آب از مخزن سد از طریق پی و بدنه است. لذا محاسبه دقیق مقدار دبی نشت از بدنه و پی سد از جهات فنی و اقتصادی حائز اهمیت فراوانی است.

نشت، نفوذ یا حرکت آرام آب از میان توده خاک است. به وجود آمدن نشت در سدهای خاکی باعث اتلاف آب، کاهش پایداری سد و در نهایت ایجاد خطرات جانی می‌شود، از این جهت تجزیه و تحلیل و آنالیز نشت آب در سدهای خاکی اولین گام موثر و یکی از مهم‌ترین مسائلی است که در طراحی سدها مورد توجه متخصصین امر قرار می‌گیرد.

به علت اختلاف بار آبی که در دو طرف سازه‌های آبی احداث شده روی پی‌های نفوذپذیر وجود دارد، همواره نشت آب از پی این گونه سازه‌ها وجود دارد. بنابراین مقدار جریانی که در اثر تراوش آب از داخل بدنه سد و فونداسیون از دست می‌رود باید مشخص شود و در محدوده مجازی که توسط طراح یا کارفرما معین می‌گردد، باشد [۳].

۲-۴- اثرات نامطلوب تراوش

جریان آب در بدنه خاکی آثار متعددی بر روی خاک داشته که دارای چند نوع است:

- سرعت آب تمایل به جدا کردن دانه‌های خاکی داشته و باعث حرکت و بهم ریختن آرایش ساختاری ریزدانه‌ها به سمت فضای بین دانه‌های درشت‌تر می‌شود.

^۱ -seepage

- زه آب با گرادیان هیدرولیکی خویش، بخشی از توده خاک را به سمت پایین دست سازه خاکی حرکت داده و ممکن است باعث پدیده جوشش^۱ شود.
- باعث فرسایش داخلی توده خاکی شده که پیشرفت آن از نقطه خروج جریان به سمت عقب بوده و باعث ایجاد یک مسیر آزاد درون بدنه خاکی کرده که به پدیده رگاب^۲ معروف است.
- فشارهای داخلی آب موجود در بدنه خاک باعث کاهش مقاومت خاک و از بین رفتن اصطکاک داخلی و منجر به ضعیف شدن توده خاکی و شکست در اثر برش می‌گردد [۴].

۲-۵- تحلیل جریان

جریان آب در خاک تا آنجا که مربوط به مساله تراوش در سد خاکی می‌شود، از قانون تجربی دارسی پیروی می‌کند بدین ترتیب که مقدار جریان مستقیماً به گرادیان هیدرولیکی^۳ بستگی دارد این قانون می‌تواند به یکی از شکل‌های زیر باشد:

$$v = ki \quad (1-2)$$

$$Q = kiA \quad (2-2)$$

که در آن v سرعت متوسط جریان بر حسب متر بر ثانیه، k ضریب نفوذپذیری^۴، Q مقدار دبی آب، A سطح مقطع جریان و i گرادیان فشار می‌باشد.

اگر آب از میان یک توده همگن خاک به نحوی جریان یابد که حفرات خاک، کاملاً پر از آب بوده و هیچ تغییری در اندازه این حفرات به وجود نیاید، مقدار آبی که در مدت معین از یک یا چند جهت به جزء کوچکی از خاک وارد می‌شود، باید برابر مقدار آب خروجی از وجه دیگر این جزء باشد (رابطه پیوستگی). این شرط، که

¹ -Boiling

² -piping

³ -Hydraulic Gradient

⁴ -Coefficient of Permability

مبین حقیقی است که آب و خاک هر دو غیر قابل تراکم هستند، را می توان برای یک حالت سه بعدی با معادله زیر بیان نمود:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3-2)$$

این معادله به معادله پیوستگی موسوم است. در این معادله، u ، v و w سه مولفه سرعت (v_0) به ترتیب در جهات x ، y ، z هستند. اگر $\frac{dh}{dl}$ مشخصه گرادیان هیدرولیکی در جهت جریان و $\frac{dh}{dx}$ ، $\frac{dh}{dy}$ ، $\frac{dh}{dz}$ سه مولفه آن باشند، قانون دارسی را می توان با معادلات زیر مشخص نمود:

$$v_0 = k \frac{-dh}{dl}$$

$$u = k_x \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$v = k_y \frac{\partial h}{\partial y} \quad (4-2)$$

$$w = k_z \frac{\partial h}{\partial z}$$

با جایگزینی معادله (4-2) در معادله (3-2)، می توان معادله کلی جریان دائم آب از میان یک خاک غیرایزوتروپیک را به دست آورد.

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (5-2)$$

چنان چه k_x و k_y و k_z با یکدیگر برابر باشند، معادله تبدیل به معادله لاپلاس^۱ می‌شود که در واقع جریان دائم آب از میان یک خاک ایزوتروپیک را می‌توان از آن به دست آورد که در زیر آمده است.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (۶-۲)$$

لازم به ذکر است که نرم افزار در هر دو حالت قادر به حل جریان آب در خاک می‌باشد. در مساله تراوش در سد خاکی می‌توان با دقت مناسب فرض کرد که فقط با حالت دو بعدی جریان مواجه هستیم، که با حل معادله لاپلاس می‌توان جواب‌های نظری برای مساله جریان دائمی^۲ آب از داخل سد خاکی تحت این شرایط بدست آورد [۵].

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad (۷-۲)$$

حل تحلیلی معادله لاپلاس تحت شرایط مرزی خاص بسیار مشکل می‌باشد، خصوصاً هنگامی که مصالح مختلف و هندسه‌های پیچیده نیز در نظر گرفته شود. لذا برای حل معادله مربوط از روش‌های:

(۱) رسم شبکه جریان

(۲) استفاده از معادلات تقریبی به دست آمده از معادله داریسی

(۳) استفاده از روش‌های عددی همانند روش‌های تفاضل محدود^۳ یا المان محدود^۴

(۴) استفاده از تشابه الکتریکی

(۵) استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی (قیاس فیزیکی)

^۱ -Laplace Equation

^۲ -Steady state

^۳ -Finite Differences

^۴ -Finite Element

استفاده می‌شود که در میان آنها، روش‌های عددی به دلیل دقت نسبتاً زیاد و در عین حال هزینه‌های نسبی کم، کاربرد فراوانی دارند. در این قسمت مختصری در مورد روش المان محدود که در تحقیق حاضر نیز از آن استفاده شده است، آورده می‌شود.

۲-۵-۱- روش المان محدود

روش المان محدود یکی از پرکاربردترین روش‌های عددی در زمینه مهندسی است که این روش حاصل کار الکساندر هرنیکوف^۱ (۱۹۴۱) و ریچارد کورانت^۲ (۱۹۴۲) می‌باشد. با این که روش کار این دو دانشمند کاملاً متفاوت بود، اما یک ویژگی مشترک داشت: تقسیم یک دامنه پیوسته (ماده) به یک سری زیردامنه (قطعات کوچکتر ماده) به نام المان (اجزا) بود [۶]. این روش به صورت شناخته شده امروزی وسیله ترنر^۳ و همکاران (۱۹۶۵) برای استفاده در تحلیل ساختمان ارائه شد. در این روش هندسه مساله با یک سری المان تقسیم می‌شود که در نقاط گرهی با یکدیگر ارتباط دارند و روابط تنش-کرنش تغییر شکل پذیری را می‌توان با تغییر در شرایط مساله تحلیل نمود. انعطاف‌پذیری زیاد این روش در مدل سازی‌ها، اعمال شرایط مرزی متنوع و همچنین توسعه کدهای توانمند باعث شده که این روش یکی از پرکاربردترین روش‌های عددی باشد. از روش المان محدود می‌توان برای حل مساله جریان در محیط‌های متخلخل پیچیده استفاده نمود. بعضی از این پیچیدگی‌ها عبارتند از:

الف) مصالح با نفوذپذیری‌های مختلف یا ناهمسانگرد

ب) هندسه‌های پیچیده

پ) شرایط مرزی و آزاد متنوع

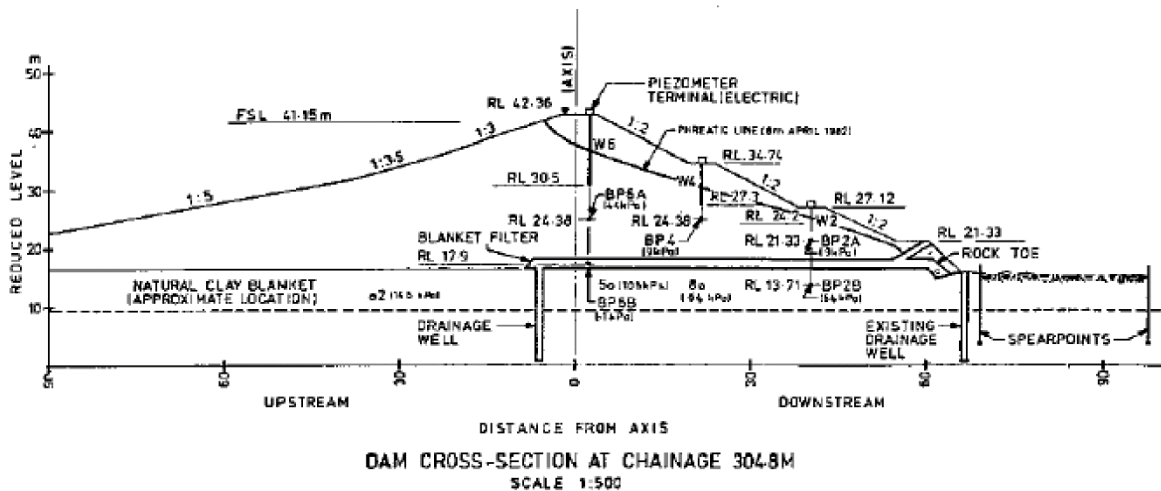
در روش اجزای محدود، هندسه مدل به المان‌های متعددی که عموماً در گره‌ها به یکدیگر متصل شده‌اند، تقسیم می‌گردد. میدان هد کل در داخل ناحیه جریان با استفاده از توابع درون یابی در داخل هر المان تقریب

^۱ -Alexander Hrennikoff

^۲ -Richard Courant

^۳ -Terner

زده می‌شود. این توابع مقادیر هد را در گره‌های المان درون یابی می‌نمایند. با حل یک دسته معادله می‌توان فشارهای منفذی و جریان عبوری از بدنه سد و فونداسیون را محاسبه نمود. میزان دقت جواب‌ها بستگی به تعداد المان‌های مورد استفاده برای تقریب زدن میدان جریان پیوسته دارد [۷].

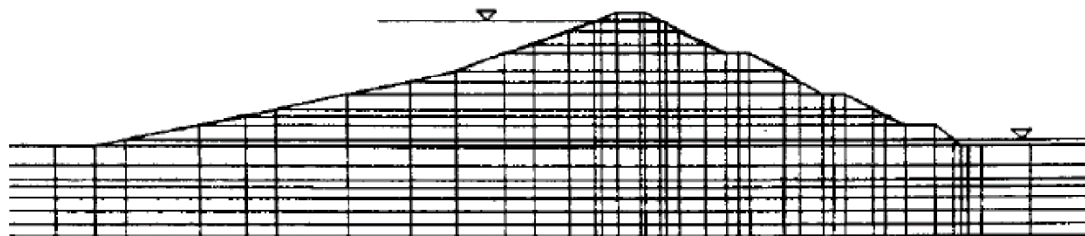


شکل ۱-۲. مقطع عرضی سد [۷]

یک نمونه از مسائلی که به راحتی می‌توان با استفاده از روش اجزای محدود حل نمود، مساله تراوش آب در داخل یک سد خاکی همانند شکل (۱-۲) می‌باشد. در این شکل، مقادیر اندازه‌گیری شده، موقعیت سطح آب آزاد (فریاتیک) و فشارهای پیزومتریک اندازه‌گیری شده در نقاط مختلف نشان داده شده است در شکل‌های (۲-۲) و (۳-۲) نوع المان بندی به کار رفته برای حل مساله تراوش نشان داده شده است. مرزهای جانبی باید در فاصله‌ای از خاکریز در نظر گرفته شوند که تاثیری بر جواب‌های بدست آمده و الگوی جریان آب نداشته باشند.



شکل ۲-۲. المان بندی سد [۸]



شکل ۲-۳. بزرگنمایی شبکه اجزا محدود [۸]

۲-۶-۲- روش‌های کاهش تراوش آب از داخل فونداسیون سد خاکی

اکثر مشکلات در اثرنشت آب از داخل پی سد بوجود می‌آید در صورتیکه طراحی سد به درستی انجام شده باشد، آهنگ تراوش آب از داخل بدنه سدخاکی معمولاً بسیار ناچیز است.

کنترل نشت آب در سدهای خاکی یکی از عوامل مهم در پایداری سدها محسوب می‌شود. در ادامه روش‌های کاهش میزان تراوش آب از داخل پی سد خاکی را به اختصار مورد بررسی قرار می‌دهیم.

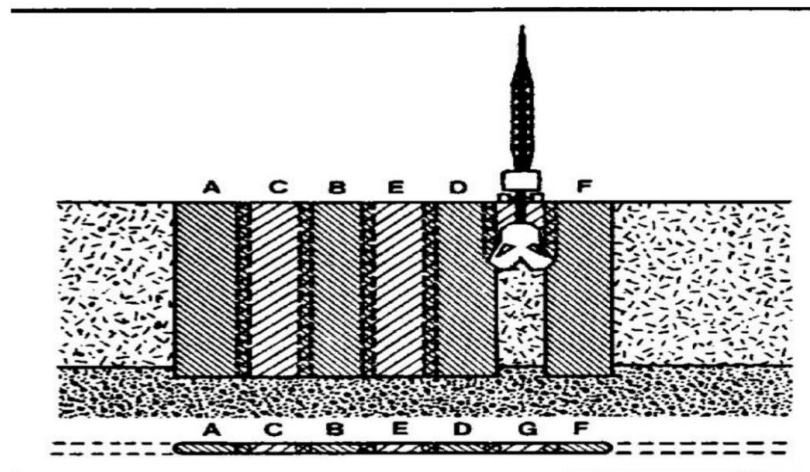
۲-۶-۱- تزریق

تزریق دوغاب به داخل خاک‌های نفوذ پذیر و سنگ، روش رایج و دایمی برای جلوگیری از جریان آب زیرزمینی است. دوغاب‌ها متنوع‌اند و می‌توانند ترکیبی از سیمان، سیمان و خاک یا مواد شیمیایی باشند. انتخاب نوع

دوگاب به تخلخل سازندهای زمین شناسی، سرعت جریان آب و مقاومت فشاری نهایی بخش‌های تزریق شده بستگی دارد. بطور کلی دوگاب‌های ماسه-سیمان برای بستن حفره‌های بزرگ و شکستگی‌ها و دوگاب‌های رس و سیمان پرتلند برای بستن شکستگی‌های نسبتاً کوچک و خاک‌های دانه درشت بکار می‌روند. به منظور کنترل جریان آب زیرزمینی، حفر رشته منفردی از گمانه‌ها و تزریق در آنها اغلب کافی است.

روش اجرایی تزریق به صورت شماتیک در شکل (۲-۴) نمایش داده شده است. این نوع دیواره‌ها معمولاً بین ۰٫۵ تا ۱٫۵ متر ضخامت دارند. در این روش ترانشه توسط دوگاب بنتونیت سیمان موسوم به ملات دوگاب حفر شده و پس از اتمام مراحل حفاری ترانشه به دوگاب اجازه می‌دهد که سخت گردد.

پانل‌ها به ترتیب A - B - C - D - F - G حفر می‌گردند به طوری که پانل‌های ثانویه قبل از سخت شدن پانل‌های اولیه حفر می‌شوند. مزیت این کار این است که بر خلاف دیواره‌های بتنی درزهای اجرایی در انتهای پانل‌ها وجود نخواهند داشت. بدین ترتیب احتمال نشست در محل این درزها کم می‌شود [۹، ۱۰، ۱۱].



شکل ۲-۴. ترتیب اجرای دیواره‌های ساخته شده با ملات [۱۰]

در شکل ۲-۵ رابطه نوع خاک و نوع پرده نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود برای پی‌های ماسه‌ای از تزریق سیمان-خاک و رس، برای پی‌های سیلتی از تزریق کروم یا پلیمرها استفاده می‌شود.



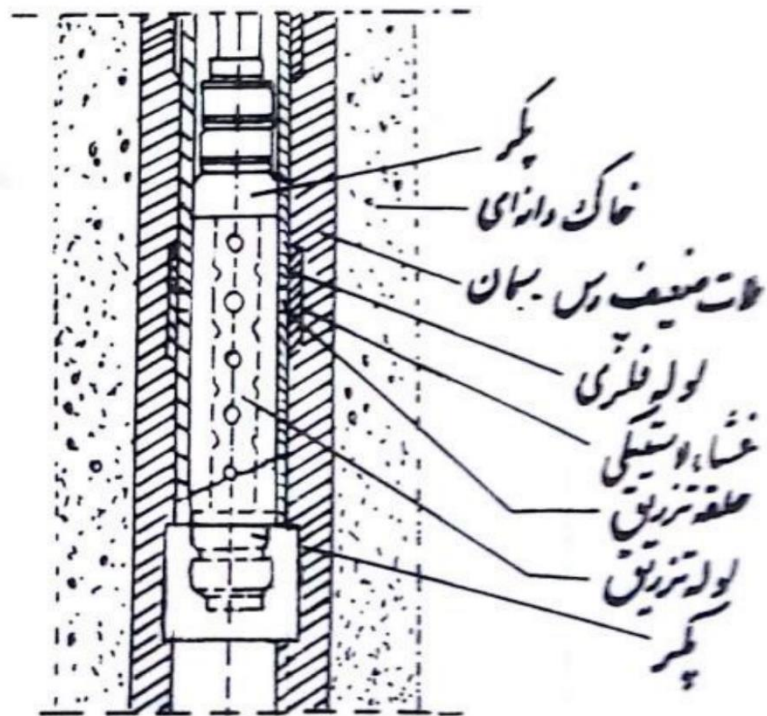
شکل ۲-۵. رابطه میان نوع خاک پی و نوع دوغابی که می توان در آن تزریق نمود [۱، ۱۲]

در حال حاضر رضایت بخش ترین روش برای تزریق در نهشته های آبرفتی، روش تیوب فرانسوی منچتز^۱ یا لوله حلقه دار می باشد. شکل زیر عناصر این روش را نشان می دهد.

گرچه این روش تزریقی هزینه زیادی دارد، ولی دارای این مزیت است که از همان لوله تزریق می توان برای هر زمان دلخواه برای انجام تزریق اضافی با تغییر نوع دوغاب استفاده نمود. آبرفت هایی از جنس ماسه، شن و قلوه سنگ، به همین روش تا اعماقی بیش از ۱۰۰ متر تزریق شده اند. به طور مثال در سدهای آسوان و ترزاقی^۲ [۱۲].

^۱ -Manchettes

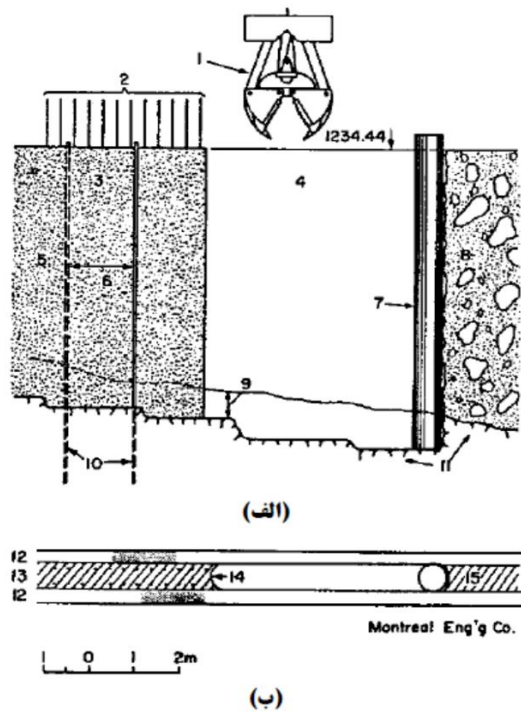
^۲ -Aswan and Terzaghi Dams



شکل ۲-۶ جزئیات اصولی لوله تزریق به روش منچتز [۵]

۲-۶-۲- دیوار جداکننده بتنی

این دیوارها برای جلوگیری دائمی نفوذ آب به کار می‌روند که بدین منظور دیوار بتنی قائمی را از پایین‌ترین قسمت سد تا لایه‌های نفوذ ناپذیر احداث می‌کنند. دیواره‌های بتنی را میتوان بصورت یک ترانشه و با استفاده از یک سری شمع‌های درجا که به یکدیگر همپوشانی دارند اجرا نمود. در اجرای دیواره‌های بتنی ابتدا دو دیوار بتنی هادی احداث می‌گردند و سپس با استفاده از دستگاه حفار خاک بین دو هادی برداشته می‌شود و در حین عملیات خاکبرداری، حفره ایجاد شده با استفاده از دوغاب بنتونیت بازنگه داشته می‌شود. سپس بتن با استفاده از لوله ترمی به داخل حفره ریخته می‌شود. ضخامت معمول چنین دیواره‌هایی در حدود ۰/۶ متر می‌باشد. با چنین روشی می‌توان دیواره‌هایی تا عمق ۵۰ متر احداث نمود. گرچه برای چنین اعماق بزرگی بهتر است ضخامت دیوار در حدود ۱ تا ۱/۲ متر اجرا گردد تا همپوشانی بین دیوارها راحت‌تر انجام گیرد [۱۳].



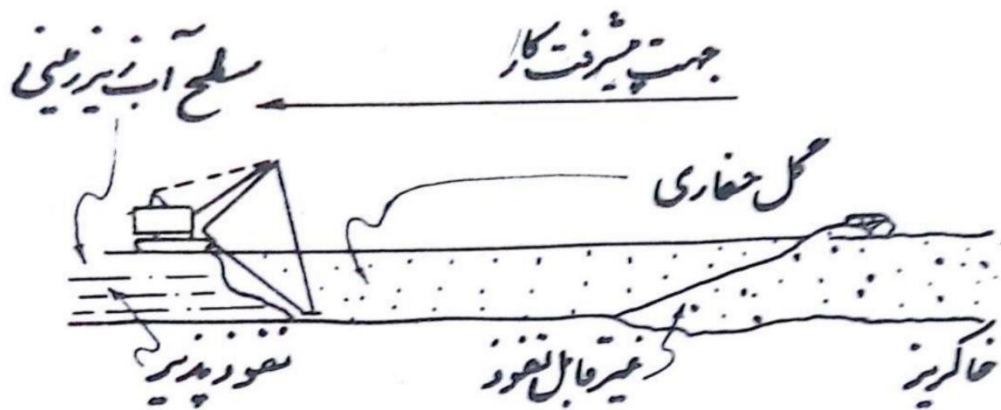
- (الف) مقطع دیوار
 (ب) نمای پلان دیوار
- ۱ - جام کلامشل موارد استفاده برای حفر پائل
 - ۲ - میلگردهای انتظار
 - ۳ - پائل اتمام یافته پیشین
 - ۴ - حفر پائل اتمام یافته و آماده بتنی ریزی است.
 - ۵ - حداکثر عمق ۳/۳۶ متر
 - ۶ - لوله های تزریق قرار گرفته در داخل بتن
 - ۷ - لوله انتهایی برای ایجاد شکل مقعر در بتن برای ایجاد اتصال بهتر با پائل بعدی
 - ۸ - ناحیه حفاری نشده
 - ۹ - حداقل میزان نفوذ در داخل سنگ بستر برابر ۶۱ سانتی متر
 - ۱۰ - سوراخ های تزریق دوغاب حفر شده در داخل سنگ بستر
 - ۱۱ - سنگ بستر
 - ۱۲ - دیوار هادی بتنی
 - ۱۳ - پائل اتمام یافته
 - ۱۴ - انتهای مقعر پائل
 - ۱۵ - ناحیه حفاری نشده

شکل ۲-۷ مراحل اجرای دیوار جداکننده بتنی [۱۴]

۲-۶-۳-دیوار جداکننده خاکی (به کمک ترانشه و گل حفاری)^۱

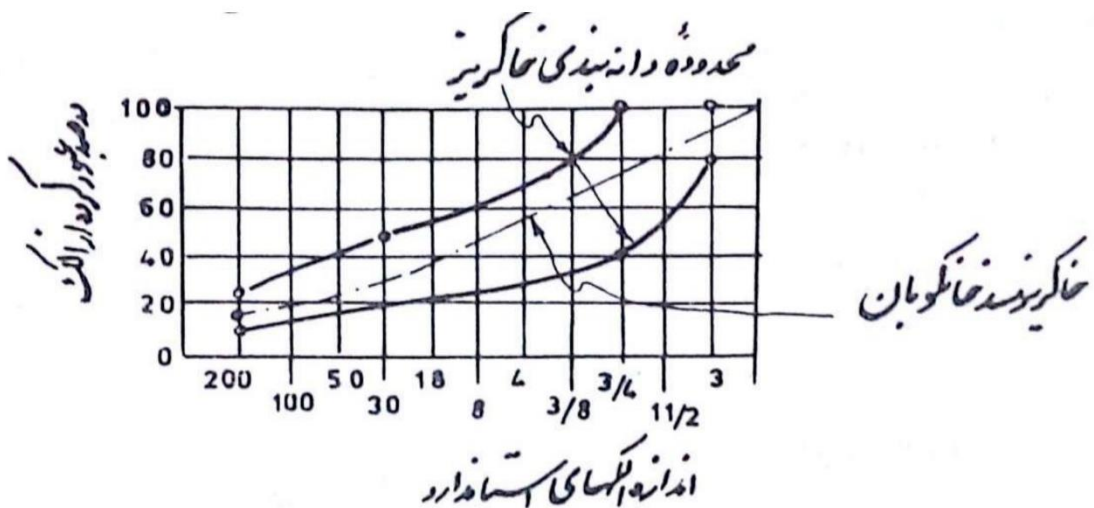
در این روش یک دستگاه حفاری نظیر بیل مکانیکی یا دراگلاین ترانشه‌ای را در میان خاک قابل نفوذ تا عمقی که به لایه غیرقابل نفوذ برسد، حفاری می‌نماید و برای جلوگیری از ریزش دیواره‌های ترانشه از گل حفاری استفاده می‌شود شکل (۲-۸). بعد از آن که به طول کافی از ترانشه حفاری شد و کف آن آماده گردید، پر کردن ترانشه شروع می‌شود.

^۱ - Slurry wall



شکل ۲-۸ نحوه اجرای دیوار جداکننده خاکی [۵]

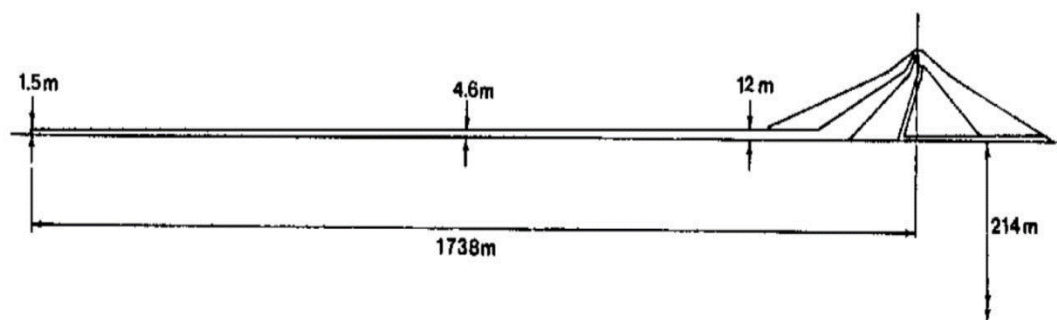
خصوصیات فیزیکی خاک خاکریز کاملاً کنترل شده است و به طور کلی خوب دانه بندی شده، غیر قابل نفوذ (پس از خاکریزی) و به اندازه کافی درشت دانه است تا پس از اجرای آن حداقل نشت را دارا باشد، ممکن است مقداری از گل حفاری را با این خاک مخلوط نمود تا قابلیت نفوذ خاک را تقلیل دهد. محدوده دانه بندی خاک چنین خاکریزی در شکل زیر نشان داده شده است [۵].



شکل ۲-۹ محدوده دانه بندی خاکریز دیوار جداکننده خاکی در سد خانکوبان

۲-۶-۴- پوشش غیرقابل نفوذ بالادست

ورقه‌ای از رس در بستر دریاچه به سمت سراب تعبیه می‌شود و با افزایش مسیرافقی جریان آب در زیرزمین باعث کاهش فشار آب و در نتیجه کاهش نشت آن در پنجه سد می‌شود. در صورتیکه احداث آب بند بسیار پرهزینه باشد با احداث یک پتو در بالادست سد می‌توان میزان افت جریان تراوش در داخل فونداسیون را کاهش داد. هدف از احداث پتو، افزایش طول مسیر تراوش آب در داخل فونداسیون است به طوریکه شیب‌های هیدرولیکی کاهش یافته و بنابراین میزان افت جریان نیز تقلیل می‌نماید [۱۳].



شکل ۲-۱۰ پتوی ناتراوا در بالادست سد

۲-۶-۵- چاه‌های زهکش

چاه‌هایی که نقش آزاد کننده فشار آب را دارند روش کمکی مهمی است که اغلب همراه سایر روش‌های کنترل تراوش داده می‌شود. این چاه‌ها نه تنها، تقریباً در همه موارد همراه پوشش غیرقابل نفوذ بالادست استفاده می‌شوند، بلکه همراه با سایر روش‌ها به منظور اطمینان کافی و جلوگیری از عدم ایجاد فشار هیدرواستاتیکی زیاد در پایین دست که ممکن است منجر به آب بردگی و شستن دانه‌ها گردد، مورد استفاده قرار گیرند. این چاه‌ها همچنین میزان تراوش و جریان کنترل نشده در پایین دست سد را کاهش می‌دهند و در نتیجه ایجاد و یا خروج آب از چشمه‌ها را کنترل می‌نمایند.

تراوش کنترل نشده ممکن است موجب خسارات فراوانی گردد که با احداث چاه‌های زهکش شاید بتوان از وقوع این خسارات جلوگیری به عمل آورد [۵].

۲-۷- دیوار آب بند بتن پلاستیک

پرده آب بند را میتوان معادل یک پرده آب بند نازک پلاستیکی ناتراوا دانست که قابلیت شکل پذیری خوبی داشته و بدون خرابی و یا گسیختگی قادر به تحمل تغییر شکل های وارد شده از طرف محیط پیرامون خود میباشد. دیواره آب بند بتن پلاستیک در مواردی در سدها مفید است که نوسانات تراز مخزن وجود دارد یا منطقه دارای قابلیت بالای زلزله خیزی است، یا در جاهایی که تردی آشکار بتن معمولی در دیوار موجب شکل گیری ترک و عبور آب میشود. دیواره ناتراوایی که همیشه در داخل توده ای از خاک (خاکریزها، بندهای خاکی، شیروانی های خاکی) احداث میشود، مستقیماً دخالت زیادی در مقاومت مکانیکی، ساختمانی که ناتراوایی آن را تامین می کند، ندارد مانند دیواره آب بند سدهای خاکی که در آن‌ها مقاومت کلی لازم بوده و آن‌ها از بتن با عیار کم سیمان و احتمالاً مخلوط با خاک رس، برای افزایش ناتراوایی ساخته میشود.

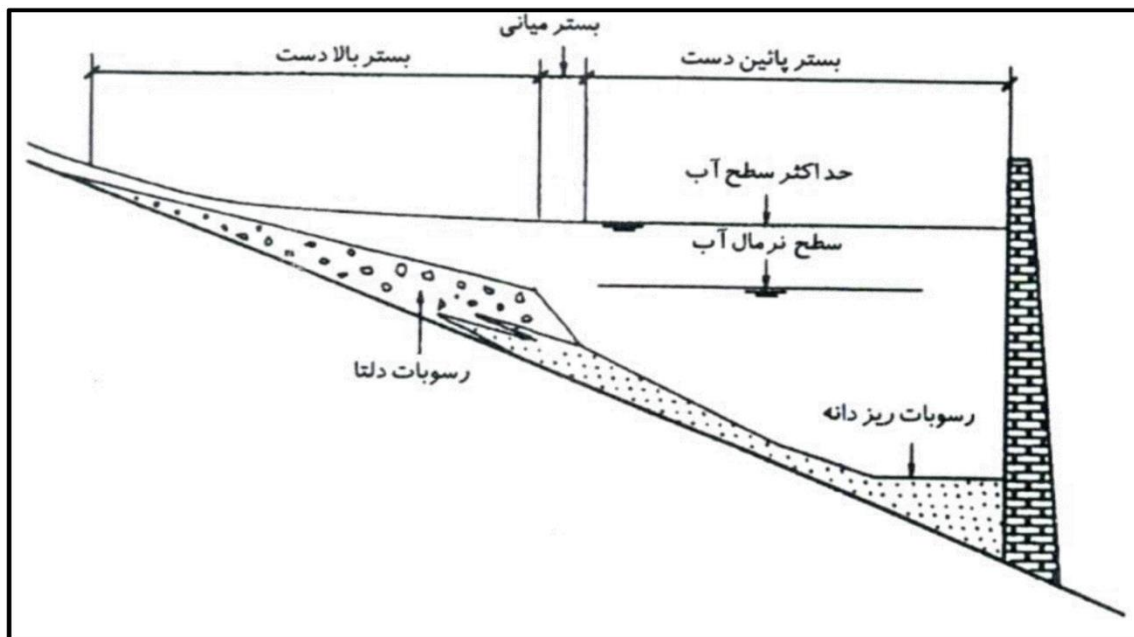
در محل احداث سد در صورتی که مصالح دانه ای موجود در محل دارای مقاومت پایینی باشند، اولاً باید دید که می توان محل ساخت را عوض کرد در صورتیکه مقدر نباشد، باید طراحی را با شرایط موجود تطبیق داد. بنابراین دیواره باید انعطاف پذیر و نرم باشد تا در مقابل تغییر مکان‌های زمین سست و قابل تراکم، مقاوم باشد و به طور مشابهی مقاومت کافی برای تحمل بارگذاری سد را داشته باشد، در این شرایط بتن پلاستیک مصالحی مناسب است و علاوه بر تغییر شکل پذیری آن باید کنترل تراوش کافی را نیز فراهم کند. هدف اصلی برای تعیین مصالح و خصوصیات دیواره آب بند، نفوذناپذیری کافی و مشابه بودن خصوصیات مکانیکی شکل پذیری زمین با دیواره آب بند است. به علاوه دیواره آب بند باید قابلیت تحمل بارهای محلی و گرادیان هیدرولیکی در عمر بهره برداری از سد را داشته باشد. از این رو دیواره‌های آب بند بتن پلاستیک در زمین‌های آبرفتی کاربرد زیادی دارد. دیواره‌های آب بند بتن پلاستیک در طیف وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند و کاربرد اصلی آن‌ها کاهش قابل ملاحظه تراوش در یک ساختگاه است [۱۵].

۲-۸- رسوب گذاری مخازن سدها

نقش رسوبگذاری مخازن در نواحی خشک و نیمه خشک و سرزمین‌هایی چون کشور ما از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. شرایط آب و هوایی و کمبود بارندگی و ضعف پوشش گیاهی در اغلب حوزه‌های آبریز کشور معضل مشترک و عمومی است و نقش عمده و اساسی در مسأله رسوب و انباشتگی مخازن دارند.

با ورود جریان رودخانه به مخزن سد، شرایط هیدرولیکی به خصوص سرعت جریان، به دلیل پس زدگی آب در محل ورود رودخانه به مخزن به شدت کاهش و پتانسیل انتقال رسوب رودخانه نیز کاهش می‌یابد. در نتیجه ظرفیت حمل رودخانه کم شده و ذرات رسوبی به تدریج ته نشین می‌شوند و پدیده رسوبگذاری در مخزن آغاز می‌شود. بخش درشت دانه بار معلق بلافاصله در مناطق ابتدایی مخزن نهشته شده و دلتا را تشکیل می‌دهند. در حالی که بخش ریزدانه بار معلق تا قسمت‌های عمیق مخزن و حتی تا نزدیک سد هم نفوذ کرده و سپس نهشته می‌شود.

بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که به طور متوسط سالیانه در حدود ۰,۷۵ تا ۱ درصد از ظرفیت مخازن سدهای کشور از رسوبات پر می‌شود که این مقدار ظرفیتی معادل ۱۷۵ تا ۲۵۰ میلیون متر مکعب می‌باشد. اثر اساسی رسوبگذاری در مخزن یک سد به صورت کاهش ظرفیت ذخیره‌ای مخزن ظاهر می‌شود [۱۶].



شکل ۲-۱۱ نمای شماتیک رسوب گذاری در مخزن سد

۲-۹- مطالعات پیشین

محققین زیادی از چندین دهه گذشته مسائل نشت را به صورت تحلیلی (رزک و سنون ۲۰۱۱) و عددی (قنبری و زریابی ۱۳۹۳، گوهرنژاد و همکاران ۲۰۱۰ و فخاری و قنبری ۲۰۱۳) مورد بررسی قرار دادند. اولین مطالعات انجام گرفته در جریان نشت از پی سدهای خاکی توسط ترزاقی^۱ انجام گرفته است. وی با تحلیل نشت از بدنه و پی سد خاکی و با توجه به ضریب نفوذپذیری مصالح تشکیل دهنده، نتیجه خود را ارائه داد. او با در نظر گرفتن عمق‌های مختلف از پرده آب بند واقع شده در پی سد خاکی به ارزیابی نشت از پوسته و پی پرداخت. ارزیابی او بر اساس روش شبکه جریان ترسیم شده برای هر حالت انجام گرفته بود [۱۷].

صدقی اصل و همکاران [۱۸] در سال ۱۳۸۴، اثر موقعیت بهینه پرده آب بند قائم در کاهش نشت و سرعت جریان در زیر سازه های آبی با استفاده از مدل عددی مورد بررسی قرار دادند و موقعیت بهینه دو پرده آب بند و زهکش را در زیر سد نشان داده شده و روابطی برای نسبت دبی نشت در حالت وجود دیوار آب بند به عدم حضور آن ارائه نمودند.

¹ -Terzaghi

همچنین در سال ۱۹۷۰ نیومن و ویترسپون^۱ [۱۹] نشت از پی و بدنه سدهای خاکی را به روش اجزای محدود مورد ارزیابی قرار دادند و مشاهده کردند که این روش قادر است تا مسائل آب زیرزمینی را به خوبی شبیه سازی نماید. اما در مقایسه با روش تفاضلات محدود از پیچیدگی های ریاضی بیشتری برخوردار است.

ریچارد و ردی^۲ [۲۰] (۲۰۰۷) ، به بررسی جامع پیشینه تحقیق در ارتباط با پدیده نشت آب در خاک و چگونگی وقوع پدیده پاپینگ در خاک های مختلف پرداختند. نتایج بررسی آنها نشان داد که اولین ابزارها برای طراحی سدهای خاکی برای مقاومت در برابر پدیده نشت در سال های ۱۹۱۰ تا ۱۹۳۵ توسعه پیدا کرد.

پاکباز و همکاران [۲۱] (۲۰۰۹) به ارزیابی ساخت دیوار آب بند بتن پلاستیک در تکیه گاه راست و چپ سد خاکی کرخه در کاهش مقدار تراوش پرداختند. مدل سازی با استفاده از نرم افزار SEEP 3D انجام شده است. در نهایت نتیجه گیری شده است که با ساخت دیوار آب بند چپ و راست مقدار تراوش به ترتیب ۶۰ و ۲۰ درصد کاهش می یابد.

نعیمی و همکارانش [۲۲] (۱۳۹۰)، به بررسی میزان تأثیر دیوار و پرده آب بند بر کاهش نشت با افزایش عمق نفوذ در محور و تکیه گاه راست سد مخزنی میرزای شیرازی به روش عددی پرداختند. در این پژوهش با توجه به اهمیت مسئله نشت و نیز به منظور نمایش جریان به صورت سه بعدی، محدوده محور و جناح راست سد توسط نرم افزار المان محدود SEEP3D مدل شده و میزان تأثیر دیوار و پرده آب بند با افزایش عمق نفوذ بر کاهش نشت مورد بررسی قرار گرفته است. پس از این محاسبه، مقدار نشت از محور و جناح راست سد در طول یک سال ۲۲۵۴۸۲۴۰ متر مکعب برآورد شده که با افزایش عمق نفوذ دیوار و پرده آب بند از ۲۰ به ۳۰ متری در زیر تراز پی نشت به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد که با استفاده از تمهیدات به کار رفته دیوار و پرده آب بند، میزان نشت در طول یک سال به ۴۴۱۵۰۴۰ مترمکعب می رسد و حدود ۸۰ درصد کاهش می یابد.

¹ -Neuman and Wither Spoon

² -Richards and Ready

صدقی اصل و همکاران [۲۳] به بررسی عوامل مؤثر بر نشت از پی دایک‌های ساحلی در سال ۲۰۱۲ پرداختند. آنها یک مدل آزمایشگاهی به طول ۹ متر و ارتفاع و عرض یک متر را با اسکلت فولادی و جداره‌های شیشه‌ای و پلاکسی گلاس ساختند و مصالح پی را ماسه تمیز ساحلی در نظر گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد که نسبت طول بهینه بلانکت و عمق پرده آب بند به عمق آب مخزن و ضخامت پی به منظور حداقل نمودن دبی نشتی و کنترل فرسایش درونی به ترتیب ۸ و ۰/۸ است.

جای^۱ و همکاران [۲۴] در سال ۲۰۰۴ با استفاده از روش تفاضل محدود مبتنی بر روش انتقال مختصات برازش مرزی به بررسی نشت از زیر سدها و فرازبندها به کمک معادله پواسون پرداختند.

یوسفی و همکارانش [۲۵] به بررسی اثر عوامل مؤثر بر پدیده جوشش از پی سازه‌های هیدرولیکی مستقر بر پی‌های آبرفتی یک مدل آزمایشگاهی پرداختند. در این مدل آزمایشگاهی پرده آب بند به عنوان متغیر عمقی، از ورق پلاکسی گلاس ساخته شده و ترازهای پی‌زومتریکی در دو وجه پایین دست و بالادست فلوم با استفاده از پی‌زومترهای شفاف با قطر کم اندازه‌گیری شدند. تأثیر موقعیت، عمق دیواره آب بند بر مقدار دبی نشت و گرادیان خروجی در قالب نمودارهای بی بعد مشاهده شد و نتایج نشان داد که در نسبت عمق پرده آب بند $d/D=0/46$ با نسبت بیشترین تراز آب بالادست $h/h_m=1$ پدیده جوشش رخ نمی‌دهد. مقدار دبی نشت و گرادیان هیدرولیکی در محدوده مساعدی قرار دارند.

اصغر امامعلی زاده قناتی [۲۶] و همکاران در سال ۱۳۹۲، به بررسی روش‌های آب بندی مخزن سد گردیان جلفا پرداختند. با تحقیقات انجام شده به طراحی آب بند را برای این سد در نظر گرفتند و نشت از این سد در حالت بدون آب بند $1571083 m^3/years$ و با حضور آب بند $16573 m^3/years$ به دست آمد که نشان می‌دهد ۹۰ درصد نشت در حضور آب بند کاهش یافت.

خشایارسنگی [۲۷] در سال ۱۳۹۲، به برآورد میزان تراوش در ساختگاه سد سیمره پرداخت. با محاسبه نشت‌ها در حالت‌های مختلف پرده آب بند، در حالت نرمال نشت بدون پرده آب بند، $1/55 m^3/s$ با پرده

¹ -Jie

ناقص ۵۲۰ متر، $0.198 m^3/s$ با پرده ناقص تا عمق ۵۰۰ متر نشت به مقدار $0.189 m^3/s$ و پرده آب بند کامل $0.27 m^3/s$ به دست آورد.

رانجا راجو^۱ [۲۸] و همکاران، قابلیت حذف رسوب حوضچه‌های رسوب گیر در سال ۱۹۹۹ مورد بررسی قرار دادند. پس از انجام بررسی‌های آزمایشگاهی بر روی قابلیت مخازن، داده‌های آزمایشگاهی موجود از گذشته تا حال گردآوری شد. آنگاه دقت روابط تجربی و روش‌های تحلیلی موجود برای قابلیت ارزیابی شده و روابط جدید را ارائه کردند.

سامه کانتوش^۲ [۲۹] نیز در سال ۲۰۰۹، مطالعات آزمایشگاهی خود را با عنوان تاثیر هندسه مخازن سطحی بر روی الگوی جریان و توزیع رسوب بار معلق انجام داد. وی با ساختن مخازن با هندسه و اشکال مختلف، مقادیر سرعت و غلظت رسوب برای یک شرایط ورودی ثابت اندازه گیری و مقایسه کرد. هدف اصلی آزمایشات انجام شده بدست آوردن مقطعی بهینه با کمترین میزان رسوب گذاری است.

¹ -Ranja Raju

² -Kantoush

فصل سوم:

معرفی نرم افزار seep/w

۳-۱- مقدمه

در این فصل به تعریف معادله لاپلاس و سپس معرفی نرم افزار می پردازیم.

۳-۲- معادله لاپلاس

برای رسم شبکه جریان و در نتیجه محاسبه دبی تراوش و میزان بار آبی در نقاط مختلف نیاز به حل عددی معادله لاپلاس می باشد.

در حالت سه بعدی و در یک محیط متخلخل همگن و همسان و برای شرایط دائمی، معادله لاپلاس به صورت زیر نشان داده می شود:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (۱-۳)$$

که پارامترهای آن در فصل قبل معرفی شدند.

همچنین به صورت های زیر نوشته می شود:

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (۲-۳)$$

یا

$$\text{Div grad} \phi = 0$$

که div همان دیورژانس و grad همان گرادیان است.

جواب های معادله لاپلاس توابع همساز^۱ نامیده می شوند.

اگر طرف راست، یک تابع سه متغیره $f(x, y, z)$ در نظر گرفته شود برای مثال:

$$\Delta \phi = f \quad (۳-۳)$$

Δ عملگر لاپلاس است.

^۱ -Consistency

این معادله، معادله پواسون نامیده می‌شود. برای حل این معادله از روش‌های عددی مانند اجزا محدود می‌توان استفاده کرد.

نرم افزار Geo studio قادر به حل معادله جریان آب در خاک در حالت غیر ایزوتروپیک (برابر نبودن ضریب نفوذپذیری در جهات مختلف) و در حالت ایزوتروپیک (معادله لاپلاس) می‌باشد.

برای حل عددی، باید شرایط مرزی را اعمال کرد که این شرایط به شرح زیر است:

- شرط مرزی دیریشله^۱: متغیر وابسته روی مرزها معلوم است.
- شرط مرزی نیومن^۲: مشتق متغیر وابسته روی مرزها مشخص است.
- شرط مرزی رابین^۳: هنگامی که شرط مرزی اعمال شده ترکیب خطی از دو شرط نیومن و دیریشله باشد.
- شرط مرزی مختلط^۴: هنگامی که شرایط مرزی در قسمتی از مرز دیریشله و در قسمت دیگر نیومن باشد.

در معادله لاپلاس با داشتن شرایط مرزی دیریشله یا نیومن، هم مقدار تابع هم مشتق عمود بر آن به دست می‌آید. اصل برهم نهی در مورد جواب‌های این معادله صادق است یعنی هر ترکیب خطی از جواب‌های معادله خود، جواب معادله است [۳۰].

۳-۳- معرفی نرم افزار

حل معادله پواسون یکی از مسایل پیچیده ریاضی است. روش‌های عددی، زمینه‌ای برای حل معادلات دیفرانسیل و تبدیل آنها به مجموعه‌ای از معادلات جبری است. با ورود کامپیوترها به عرصه و استفاده روز افزون از آنها، روش‌های عددی بسیار مورد توجه قرار گرفتند. با استفاده از کامپیوتر می‌توان مجموعه بزرگی از معادلات جبری را به وسیله تکنیک‌هایی تحت عنوان روش‌های تکراری و یا روش‌های ماتریسی حل نمود.

¹ -Dirichlet Boundray condition

² -Neumann Boundray condition

³ -Rabin Boundray condition

⁴ -Mixed Boundray condition

رشد رایانه‌ها و توسعه روش‌های عددی مانند اجزاء محدود و تفاضلات محدود، سبب معرفی برنامه‌های تجاری، بخصوص در محدوده اجزاء محدود توسط شرکت‌ها، موسسات و دانشگاه‌ها به دنیای علم شده است. در حوزه ژئوتکنیک می‌توان به نرم افزارهایی همچون GeoStudio، Flac،Plaxis و... اشاره کرد. بسته نرم افزاری GeoStudio در سال ۲۰۰۴ به بازار عرضه شد که یکی از کاراترین محصولات در فضای دو بعدی در زمینه ژئوتکنیک می‌باشد که دانشجویان مهندسی آب و مهندسی عمران، بخصوص گرایش خاک و پی و مهندسیین مشاور در برخورد با مسائل مربوط به اثرات متقابل حرکت آب در خاک می‌توانند از این نرم افزار استفاده کنند. این نرم افزار برای مدل سازی تراوش و توزیع فشار آب منفذی در محیط های متخلخل نظیر خاک و سنگ تهیه شده است. از قابلیت های این برنامه، ترسیم گراف آب عبوری از درون خاک، بردارهای سرعت، ترسیم خطوط جریان و خطوط هم پتانسیل و محاسبه دبی عبوری از مقطع مشخصی از خاک استفاده می‌شود [۳۰]. در این نرم افزار فرمول بندی‌ها طوری انجام شده است که هم برای مسائل ساده و هم در مسائل بسیار پیچیده تراوش می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این برنامه قابلیت این را دارد که در شرایط پایدار (steady state) آنالیز را انجام داده و شرایط آب و خاک را در حالت های مرحله ای بررسی کند [۳۱].

نرم افزار یاد شده یک نرم افزار تحلیلی جامع می‌باشد که قادر است جریان را در هر دو حالت اشباع و غیر اشباع مدل کند. توانایی این نرم افزار برای مدل کردن جریان در محیط غیر اشباع، منجر گشته تا شرایط بسیار واقعی تر نسبت به سایر نرم افزارها گردد. در حالی که بسیاری از نرم افزارهای دیگر قادر به در نظر گرفتن این توابع در کنار یکدیگر نیستند. در این نرم افزار امکان استفاده از تمام شرایط مرزی ممکن از قبیل هد کل، هد فشار و همچنین شرایط خروج آب از مدل در یک مساله تراوش وجود دارد. با توجه به اینکه نرم افزار تحلیل غیر اشباع انجام می‌دهد، لذا امکان تعریف تابع نفوذپذیری در این نرم افزار وجود دارد. رابطه ضریب نفوذ پذیری با فشار منفذی، به صورت نقطه ای تعریف می‌شود و نرم افزار با استفاده از روش های برازش منحنی، یک منحنی به این نقاط برازش داده و در تحلیل از آنها استفاده می‌کند. در تحلیل مدل های دارای سطح آزاد جریان و شرایط مرزی از نوع خروج آب از مدل، از آنجایی که هم موقعیت محل خروج آب از مدل و هم ضرایب نفوذ پذیری در نقاط مختلف مدل نامعلوم می‌باشند، لذا برنامه از دو سعی و خطا در داخل هم استفاده می‌کند.

بدین ترتیب که ابتدا با یک شرط مرزی مفروض مساله را حل می‌کند تا جایی که دیگر ضریب نفوذ پذیری در نقاط مختلف مدل تغییر نکند، در این حالت سعی و خطای اول همگرا شده و برنامه با این فرضیات شرایط مرزی را کنترل می‌نماید. اگر شرایط مرزی در حال خروج در محل خروج آب از مدل ارضا شده باشد، سعی و خطای دوم نیز خاتمه می‌یابد. در غیر این صورت با اعمال تغییرات لازم بر روی شرایط مرزی، مساله دوباره تحلیل و این روند تا اصول همگرایی ادامه می‌یابد [۳۲].

در سدهای خاکی، در داخل جسم سد و در محدوده سطح آزاد آب، محیط به دو قسمت اشباع و غیراشباع تقسیم می‌شود که جریان در هر دو محیط و نیز بین دو محیط وجود دارد. همانطور که گفته شد، ضریب نفوذپذیری خاک اشباع با تغییرات درصد رطوبت یا تغییرات مکش حفره ای تغییر می‌کند و در این نوع جریان، قانون دارسی و رابطه پیوستگی در هر دو محیط صادق است. با داشتن رابطه محتوای رطوبت حجمی برحسب مکش حفره ای و ضریب نفوذپذیری می‌توان معادله تراوش را با استفاده از سعی و خطا حل نمود. چون مقدار ضریب نفوذپذیری در هر نقطه از محیط در ابتدای امر معلوم نیست، ابتدا با فرض محیط اشباع، معادله تراوش حل شده و فشار منفذی در هر المان از محیط محاسبه می‌شوند، سپس با استفاده از مقدار فشار منفذی در مرکز هر المان، مقدار ضریب نفوذ پذیری آن المان تعیین شده معادله تراوش با نفوذپذیری جدید مجدداً حل می‌شود. این روند تا حصول همگرایی ادامه می‌یابد [۳۲ و ۳۳].

بسته نرم افزاری GeoStudio شامل اجزای متعددی است که بیانگر قابلیت‌های بسیاری است. زیر نرم افزار SEEP/W به منظور آنالیز بحث‌های مربوط به تراوش و حرکت آب در خاک در شرایط جریان ماندگار و غیرماندگار به کار می‌رود.

زیرنرم افزار CTRAN/W مباحث مربوط به انتقال، ردیابی و پخش آلاینده‌ها را در داخل خاک بررسی می‌کند.

زیرنرم افزار SLOPE/W مربوط به آنالیز پایداری شیب‌ها می‌باشد شایان ذکر است که نوع آنالیز صورت گرفته در این زیرنرم افزار به صورت اجزاء محدود نبوده و آنالیز بر اساس روش تعادل حدی و روابط مربوط به

آن صورت گرفته است. زیرنرم افزار VADOSE/W جهت آنالیز اثر شرایط محیطی از قبیل خورشید، گیاهان و بارش بر خاک استفاده می‌شود. در زیرنرم افزار SIGMA/W تحلیل تنش و کرنش در سازه‌های خاکی بخصوص در مبحث سدهای خاکی صورت می‌پذیرد و می‌توان میزان تنش‌ها و جابجایی‌ها را بدست آورد. در زیرنرم افزار QUAKE/W آنالیز دینامیکی سدهای خاکی و یا سازه‌های خاکی مرتبط صورت می‌پذیرد. علاوه بر بسته نرم افزار GeoStudio نرم افزار Seep3D نیز توسط این شرکت در سال ۲۰۰۲ ارائه شده است. این نرم افزار توانایی مدل کردن حرکت آب در خاک را در فضای سه بعدی دارد. از جمله نرم افزارهایی که برای حل معادله پواسون با استفاده از روش اجزا محدود مورد استفاده قرار می‌گیرد، نرم افزار SEEP/W است. این بخش از نرم افزار قادر به بررسی شرایط تراوش و جریان آب در خاک است.

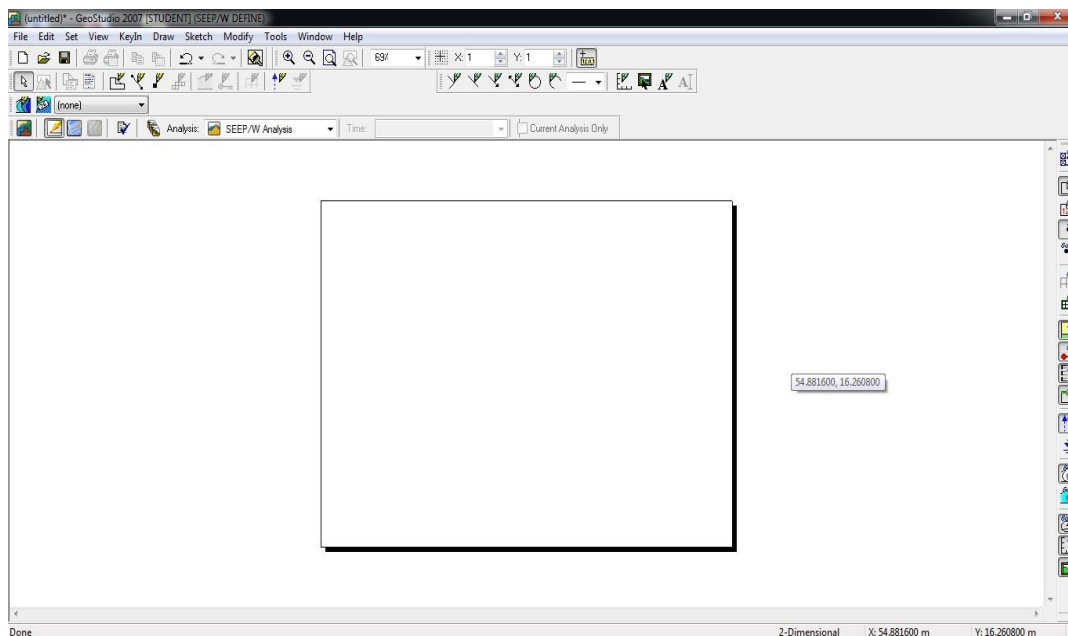
از قابلیت‌های این بخش از نرم افزار ژئواستودیو، ترسیم تراز آب عبوری از درون خاک و ترسیم خطوط جریان و هم پتانسیل و محاسبه‌ی دبی عبوری برای مقطع مشخصی از خاک است. برنامه ژئواستودیو این قابلیت را دارد که در شرایط جریان ماندگار آنالیز انجام دهد. تحلیل عددی در این برنامه بر مبنای اجزای محدود صورت می‌گیرد [۳۰].

۳-۴- نحوه ایجاد مدل

برای مدل سازی یک سد، نخست باید هندسه مدل سد تعیین شود؛ این هندسه شامل شیب‌های بالادست و پایین دست، مشخصات اجزای سد اعم از مصالح بدنه و فونداسیون، عرض تاج سد و سایر ابعاد مورد نیاز است. پس از این مرحله مشخصات فنی مصالح و مدل رفتاری آنان تعیین می‌شود. برای این مدل سازی، این مشخصات شامل نفوذپذیری (K)، رطوبت حجمی خاک یا قابلیت نگهداشت آب در خاک ($S.W$)، سایر پارامترهای فرعی خاک است. معیار رفتار مصالح نیز در این مرحله تعیین می‌شود. پس از این مراحل، نوبت به تعیین شرایط مرزی هیدرولیکی می‌رسد؛ پس از تعیین ارتفاع آزاد و سطح آب در شرایط مختلف تراز مخزن سد، باید شرایط مرزی در سایر قسمت‌ها نیز در صورت وجود تعیین شود.

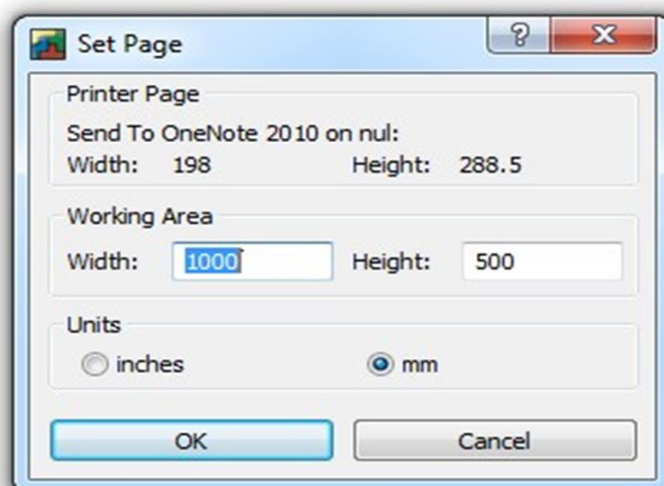
۳-۴-۱- تنظیمات اولیه صفحه نمایش

شکل زیر صفحه نمایش محیط نرم افزار Seep/w را نشان می دهد.



شکل ۳-۱. صفحه اولیه نرم افزار Seep/w

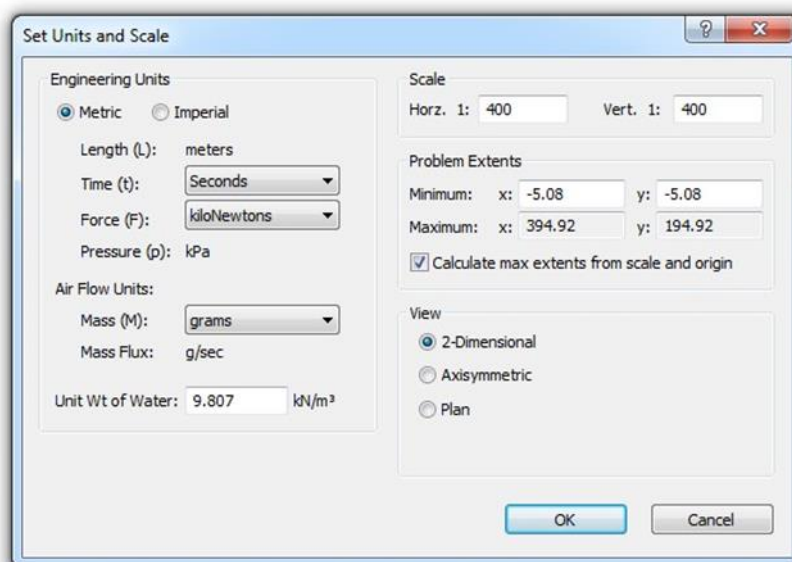
برای شروع کار با این نرم افزار لازم است تنظیمات اولیه شامل صفحه، مقیاسهای افقی و قائم، وجود نقاط راهنما و محورهای افقی و قائم تعیین مختصات را انجام داد. با انتخاب منوی Set و گزینه Page می توان طول و عرض صفحه نمایش را بر حسب میلیمتر یا اینچ مشخص کرد (شکل ۳-۲). تعیین ابعاد صفحه بهتر است با توجه به محدوده توسعه مختصات افقی و قائم مدل به گونه ای باشد که تمام فضای موجود در صفحه توسط نقاط هندسه اشغال شود. بدین ترتیب فضای خالی در سطح صفحه نمایش وجود نداشته باشد.



شکل ۳-۲. تعیین اندازه صفحه کار جهت مدل سازی

با انتخاب پنجره Units and Scale از منوی Set پنجره‌ای مطابق شکل ۳-۳ ظاهر خواهد شد. در این پنجره با انتخاب یکای فوت یا متر میتوان نوع سیستم واحدی حاکم بر تحلیل را مشخص کرد.

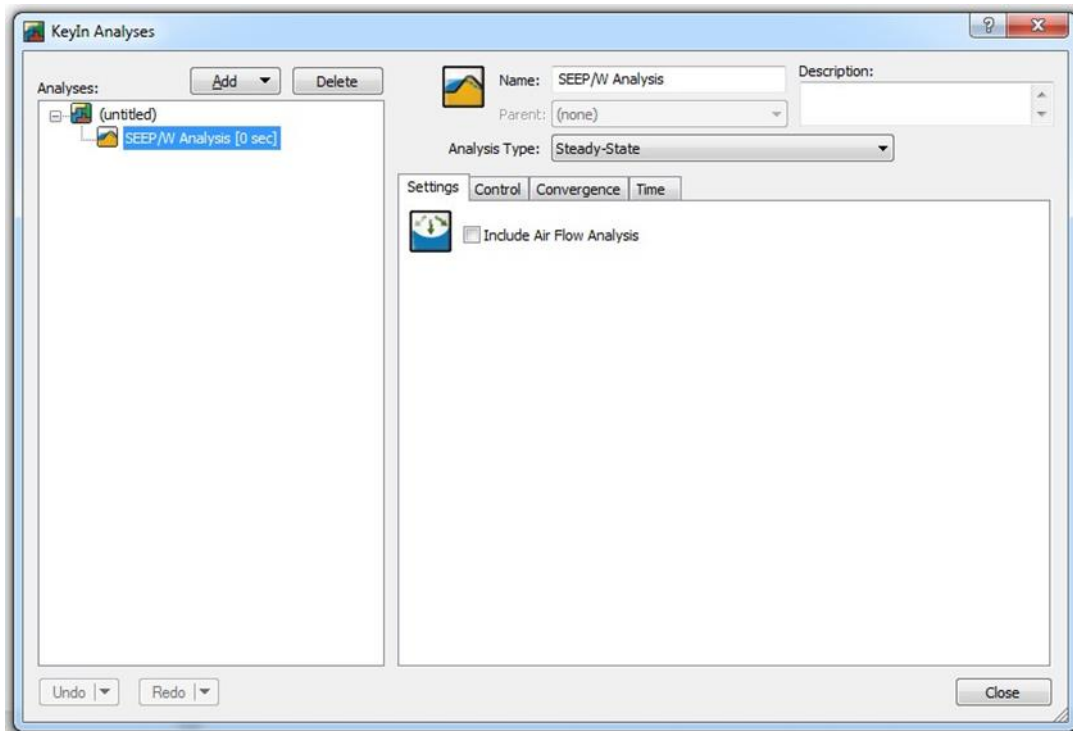
مقیاس افقی و قائم صفحه در بخش Scale و محدوده حداقل و حداکثر x و y در بخش Extents Problem وارد خواهد شد و در این پنجره می‌توان وزن مخصوص آب را به دلخواه تغییر داد.



شکل ۳-۳. انتخاب سیستم واحدی، محدوده ابعاد افقی و قائم صفحه و وزن مخصوص آب

۳-۴-۲- انتخاب نوع تحلیل و معیارهای همگرایی

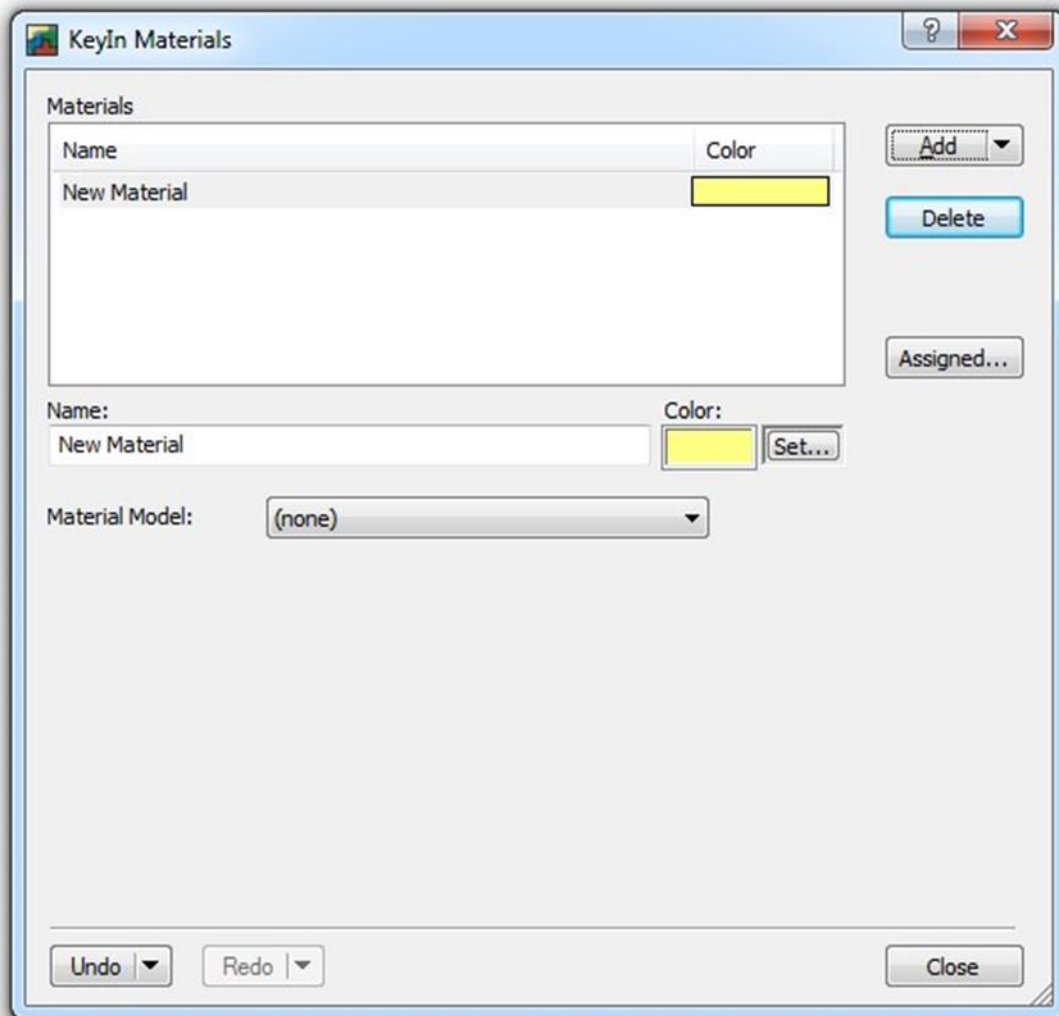
جهت تعریف مشخصات مدل از قبیل نوع تحلیل اعم از تحلیل ماندگار و تحلیل غیر ماندگار، تعداد گام‌های سعی و خطا، خطای انتخابی، طول گام‌های زمانی جهت اجرای پروژه مطابق شکل ۳-۴ از پنجره Analysis Setting واقع در منوی KeyIn استفاده می‌شود. در این پنجره از گزینه Type جهت تعیین نوع تحلیل اعم از ماندگار Steady و غیر ماندگار Transient و اعمال شرایط اولیه در تحلیل غیرماندگار استفاده می‌شود. از پنجره Convergence جهت تعیین حداکثر تعداد سعی و خطا و حداقل و حداکثر میزان تغییرات در هر گام زمانی می‌توان بهره برد.



شکل ۳-۴. تعیین نوع تحلیل تراوش از پنجره Type و انتخاب اعداد سعی و خطا و مقدار خطای انتخابی در هر گام

۳-۴-۳- تعیین خصوصیات فیزیکی مدل

جهت تعریف حالات مختلف مصالح و خصوصیات فیزیکی آنها اعم از نفوذپذیری، زاویه حرکت آب در خاک و نسبت سرعت افقی و قائم، فشار آب حفره ای، ضریب ذخیره ویژه باید مطابق شکل ۳-۵ از منوی KeyIn گزینه Materials فعال شود.



شکل ۳-۵. تعریف مصالح جدید

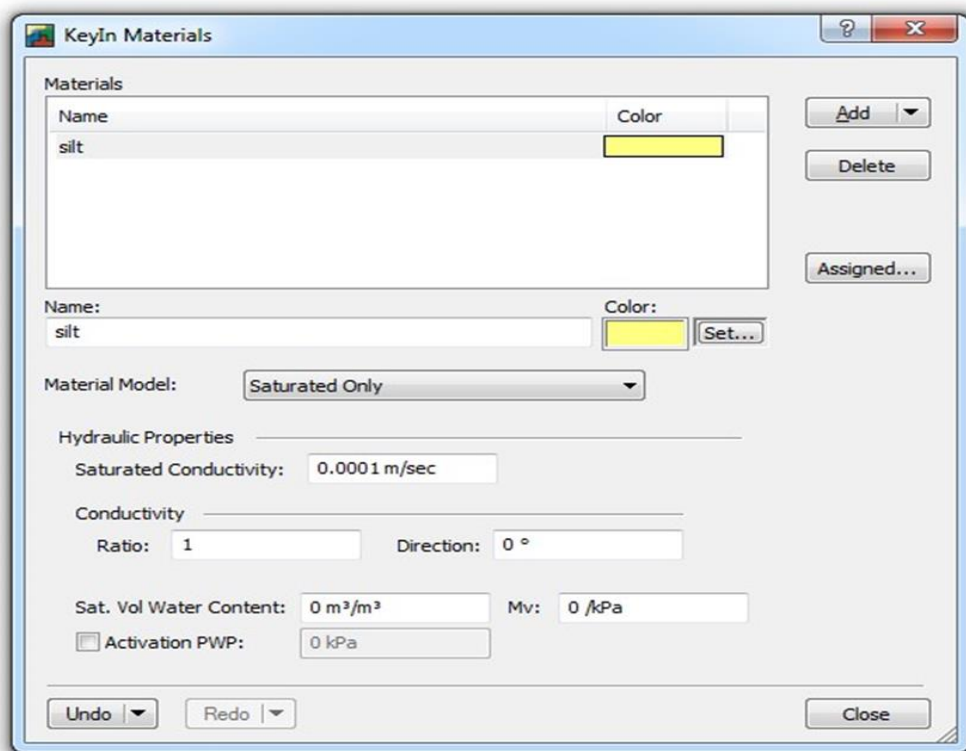
در شرایط وجود خاک غیر اشباع حباب‌های هوا موجود در توده فضاهای خالی خاک سبب ممانعت در مقابل حرکت آب در خاک می‌گردد؛ در نتیجه حرکت آب در خاک در شرایط غیراشباع مشکل‌تر از شرایط اشباع

می‌باشد. لذا در نظر گرفتن ضریب نفوذپذیری غیراشباع خاک برای خاک غیراشباع به نتایج غیر واقعی منجر می‌شود. از جمله قابلیت‌های این نرم افزار تعریف ضریب نفوذپذیری غیراشباع خاک به واسطه تعریف ضریب نفوذپذیری خاک با فشار آب حفره‌ای است.

برای تعریف حالات مختلف خاک در پنجره Materials پس از تعریف یک خاک جدید سه حالت زیر برای تعریف و حالات خاک ممکن است:

۳-۴-۳-۱- خاک اشباع (Saturated Only)

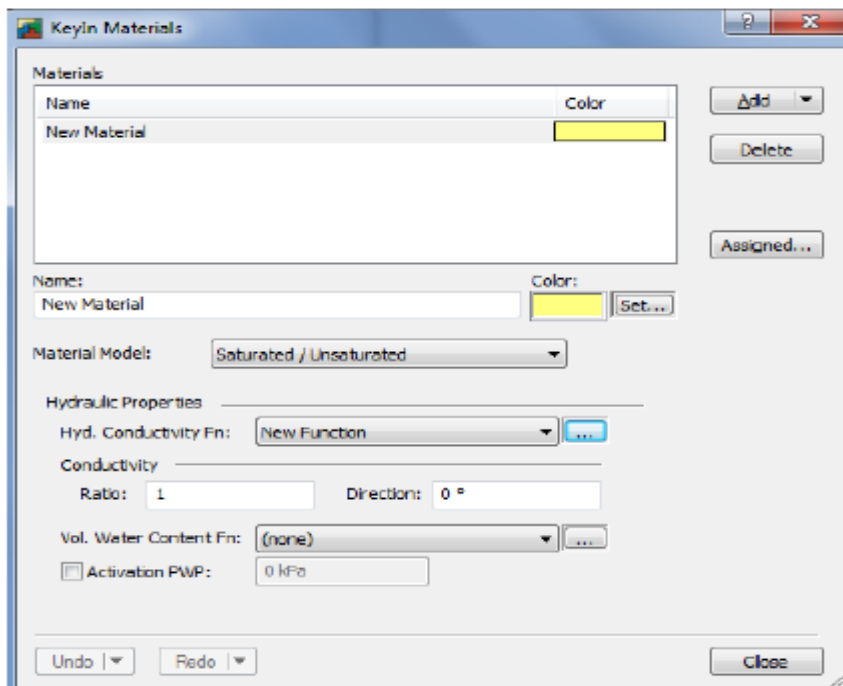
مطابق شکل ۳-۶ در حالت اشباع باید عبوردهی هیدرولیکی Saturated Conductivity، زاویه حرکت آب در خاک (چرخش محورهای مختصات) Direction، نسبت عبوردهی هیدرولیکی در راستای محورهای مختصات Ratio، ضریب ذخیره ویژه اشباع Sat. Vol Water Content، فشار آب حفره‌ای تعیین و تعریف کرد. باید توجه کرد عبوردهی تعریف شده در راستای x است و عبوردهی در راستای y به وسیله عوامل Ratio و Direction به دست می‌آید.



شکل ۳-۶. تعریف خاک در شرایط اشباع

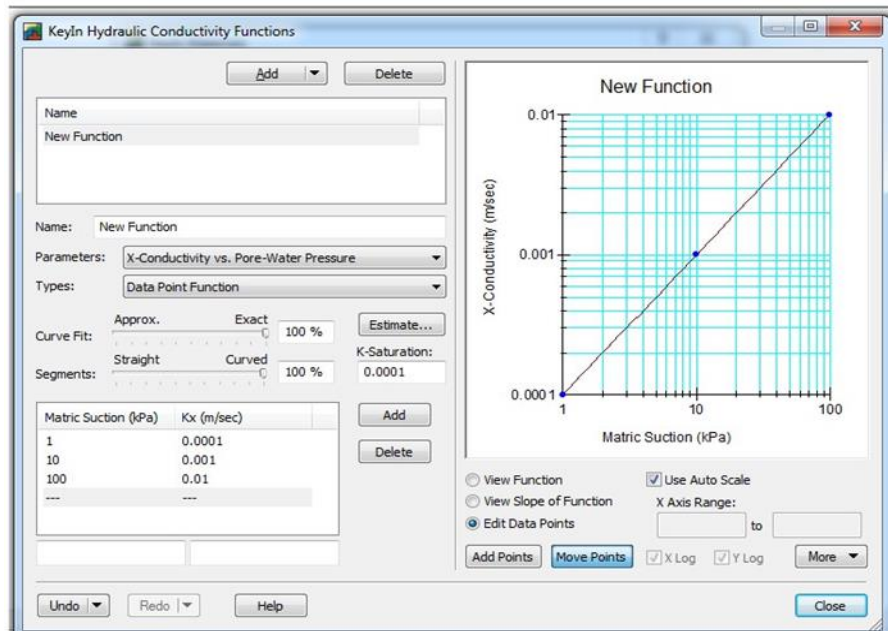
۳-۴-۲- خاک اشباع / غیر اشباع (Saturated / Unsaturated)

در این حالت بعد از باز کردن منوی KeyIn Material از قسمت Material Model گزینه Saturated را انتخاب می‌کنیم که به صورت شکل (۳-۷) نمایش داده شده است.



شکل ۳-۷. جعبه keyIn Material برای خاک اشباع/غیراشباع

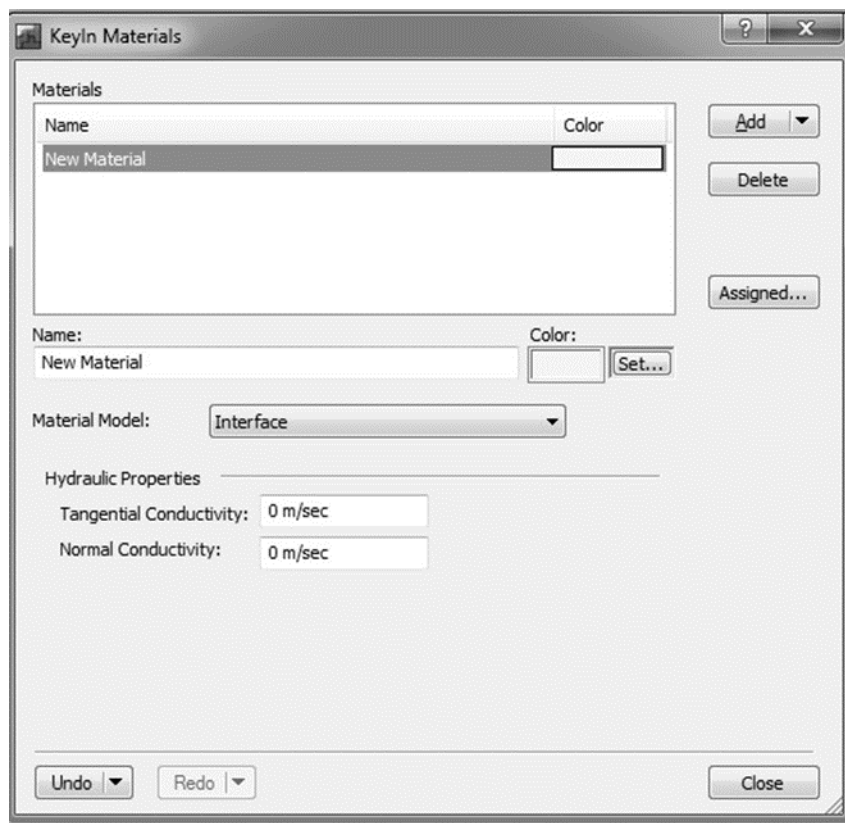
در این حالت باید برای نفوذپذیری تابعی تعریف کرد که برای این منظور از قسمت Hyd.Conductivity fn تابع را که می‌تواند با استفاده از سنگدانه‌ها و یا ... باشد، از قسمت Estimate و با مشخص کردن نفوذپذیری خاک اشباع، تعریف کرد.



شکل ۳-۸. جعبه conductivity Functions

۳-۳-۴-۳ خاک غیر قابل نفوذ (Interface)

همانطور که میدانیم خاک غیر قابل نفوذ می‌تواند جریان بسیار بسیار کمی را از خود عبور دهد. چون این جریان نسبت به بقیه مناطق بسیار ناچیز و غیر قابل توجه است می‌توان ضریب عبوردهی هیدرولیکی آن را برابر صفر در نظر گرفت. اما برای دقت بیشتر می‌توان ضریب عبوردهی مماسی و عمودی را مانند شکل ۳-۹ در نظر گرفت.



شکل ۳-۹. تعریف مشخصات خاک غیر قابل نفوذ

۳-۵- ترسیم هندسه مدل

۳-۵-۱- مشخص کردن نقاط

جهت ترسیم هندسه مدل لازم است مختصات نقاط مختلف مرزهای مدل وارد شوند. برای این منظور از منوی KeyIn پنجره KeyIn Points استفاده می‌شود. در پنجره ظاهر شده میتوان مختصات نقاط را به طور یک به یک وارد کرد. پس از کلیک بر روی گزینه Add نقطه در صفحه ظاهر میشود.

۳-۵-۲- ترسیم خط ها

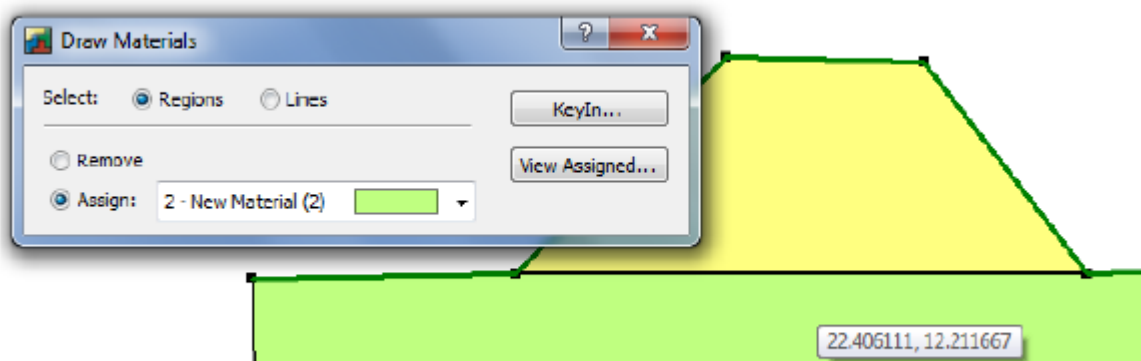
پس از مشخص کردن نقاط در صفحه با داشتن شماره هر نقطه می‌توان از نوار KeyIn و منوی Line بین آنها خط مشخص کرد و یا به صورت ترسیمی از منوی Draw گزینه Line استفاده کرد.

۳-۵-۳- ترسیم ناحیه ها

این گام برای اختصاص دادن مصالح موردنظر به هر ناحیه در مراحل بعدی، صورت میگیرد. برای این کار از منوی KeyIn گزینه Regions و یا از منوی Draw گزینه Regions به صورت دستی ناحیه مورد نظر ترسیم می شود.

۳-۵-۴- اختصاص دادن Material به ناحیه

پس از مشخص شدن منطقه و خط در صفحه برای اختصاص دادن نوع ماده‌ای که قبلاً تعریف کردیم مطابق شکل ۳-۱۰ از نوار Draw گزینه Material را انتخاب میکنیم و با توجه به نوع منطقه مورد بررسی ابتدا نوع ماده را از بین ماده‌های که قبلاً تعریف کردیم انتخاب کرده و با مشخص کردن خط یا منطقه قسمت مورد بررسی به وسیله نشانگر که بسته به انتخاب خط یا منطقه به شکل یک خط یا مربع می‌باشد، به اختصاص دادن ماده مورد نظر به قسمت‌های مختلف صفحه کار می‌پردازیم.

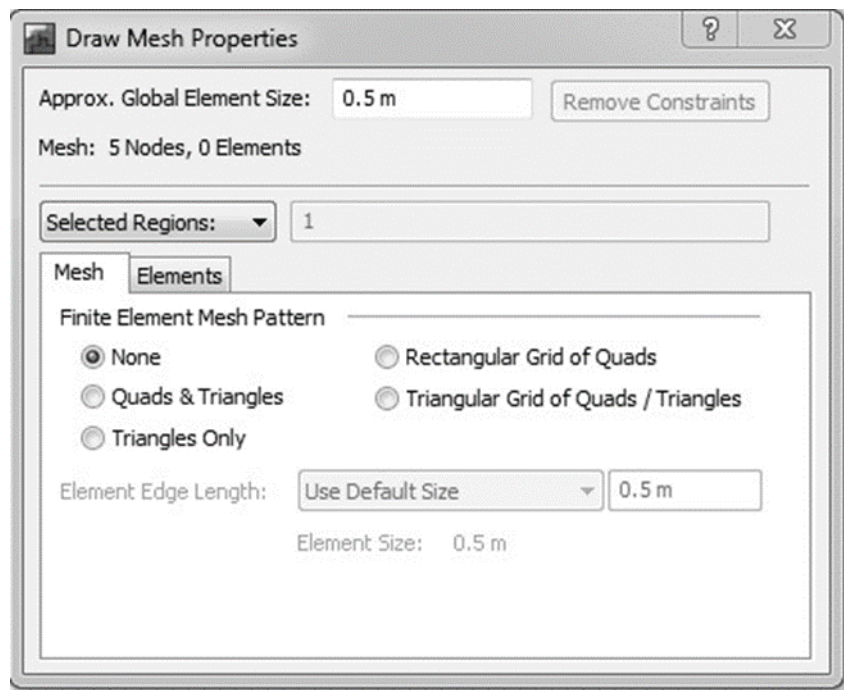


شکل ۳-۱۰. پنجره Draw Materials برای اختصاص مصالح به ناحیه ها

انتخاب نوع خط بیشتر برای تعریف دیوارهای آب بند با عرض کم است و معمولاً به طور غیرقابل نفوذ (Interface) تعریف می‌شود.

۳-۵-۵-مش بندی

پس از کشیدن و بستن مناطق نوبت به مش بندی می‌رسد و برای این کار از نوار Draw گزینه Mesh Properties را انتخاب می‌کنیم و ابتدا در بالای پنجره اندازه مش‌ها را تعیین می‌کنیم. هر چه ابعاد ریزتری داشته باشیم دقت کار بالا می‌رود، اما در عوض زمان رسیدن به جواب قابل قبول بیشتر طول می‌کشد. سپس نوع مش بندی را با توجه به دقت کار و طرح انتخاب می‌کنیم.



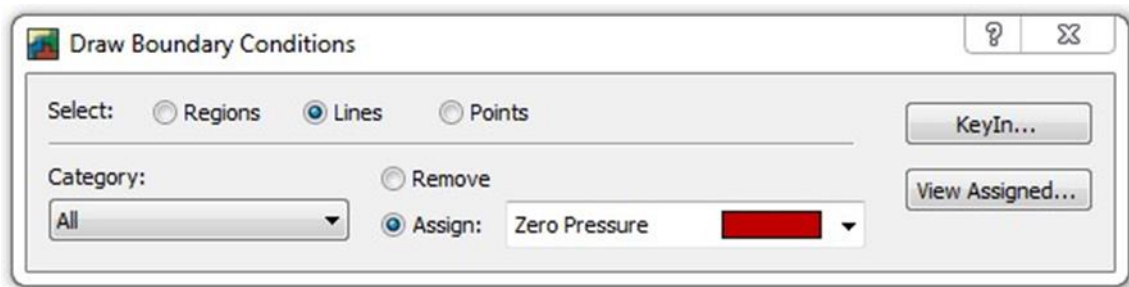
شکل ۳-۱۱. پنجره Mesh Properties از نوار Draw برای مش بندی

۳-۵-۶-اختصاص شرایط مرزی

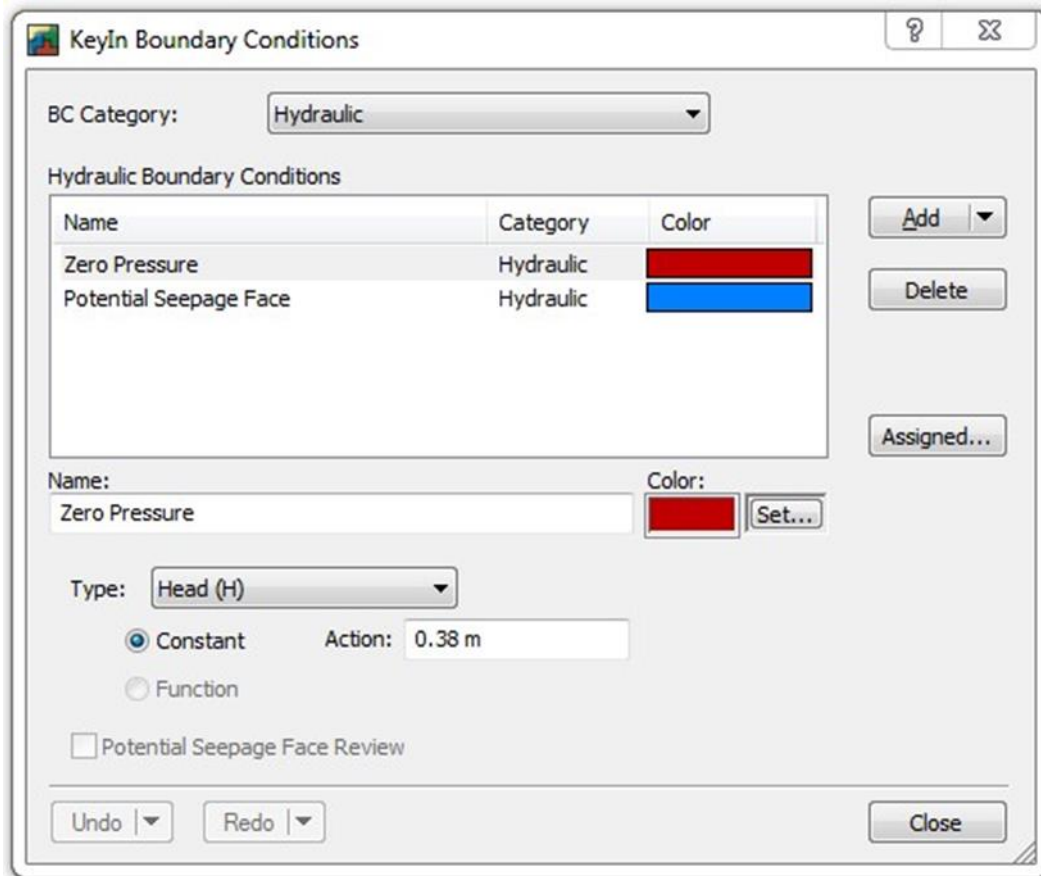
به منظور نمایش شرایط مرزی می‌توان از گزینه Boundary Conditions موجود در منوی Draw استفاده کرد. با انتخاب این گزینه پنجره‌ای مطابق شکل ۳-۱۲ ظاهر خواهد شد. برای تعریف انواع مختلف شرایط مرزی ابتدا گزینه KeyIn را زده تا پنجره KeyIn Boundary Conditions ظاهر شود. ابتدا باید از نوار Type نوع شرایط مرزی را با توجه به قسمت مورد نظر انتخاب شود.

شرایط مرزی Pressure Head برای حالت وجود یک سطح با بار آبی ثابت برای تمام نقاط این سطح به کار می‌رود. به عنوان مثال چنانچه اطمینان از ظهور سطح آب در بخش پایین دست سد وجود داشته باشد. برای این شرایط مرزی از نوع Pressure Head تعریف می‌شود. در حالی که از محل خروج سطح آب در بخش شیبدار پایین دست اطمینان وجود نداشته باشد از شرایط Total Flux (Q) یا Unit Flux (q) همراه با روشن کردن گزینه Potential Seepage Face Review استفاده می‌شود.

باید توجه داشت دو شرط مرزی Head و Pressure Head هر دو دارای مفاهیم یکسانی هستند، با این تفاوت که شرط مرزی Head رقوم از کف را نیز علاوه بر Pressure Head در نظر می‌گیرد. البته تمام حالات گفته شده فقط در حالات ماندگار تعریف می‌شوند و مقادیر ثابت (Constant) را در هر دو حالت بالادست و پایین دست به ما می‌دهد. برای تعریف حالت غیر ماندگار باید گزینه Function را فعال کنیم و نمودار آن را بر اساس داده‌های موجود رسم می‌کنیم تا نرم افزار از آن استفاده کند. (شکل ۳-۱۳)



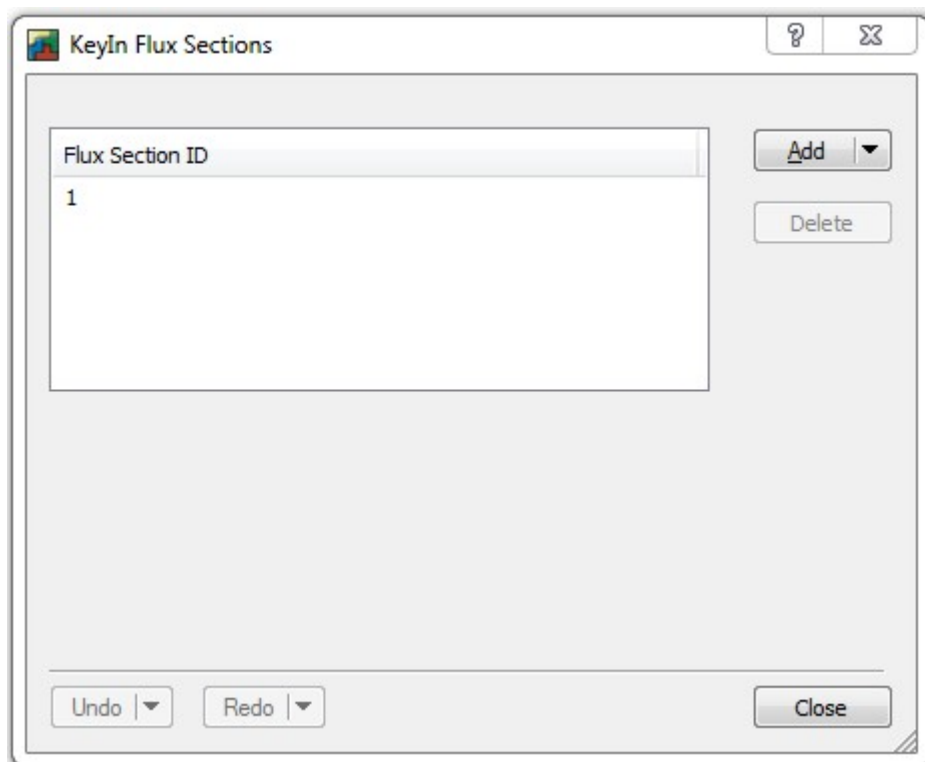
شکل ۳-۱۲ اختصاص شرایط مرزی هیدرولیکی



شکل ۳-۱۳. تعریف شرایط مرزی هیدرولیکی

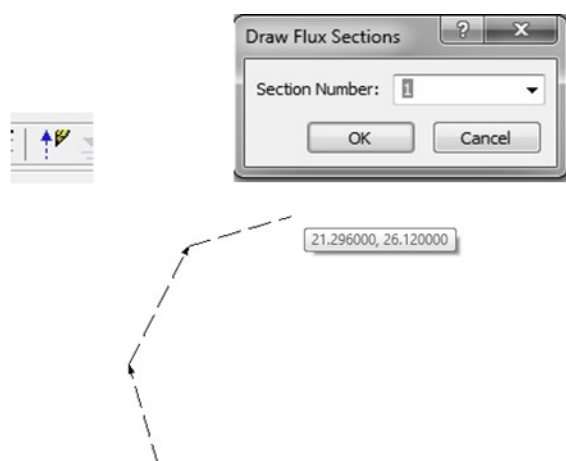
۳-۵-۷-قرائت و اندازه گیری دبی

در این نرم افزار می توان مقطعی به دلخواه را در واحد عرض با تعریف مختصات ابتدا یا انتهای مقطع انتخاب و یا به طور دستی رسم کرد و مقدار دبی را محاسبه کرد. برای این منظور پنجره KeyIn Flux Sections از منوی KeyIn انتخاب می شود. پس از این مرحله پنجره های مطابق شکل ۳-۱۴ باز می شود که می توان در آن مختصات ابتدا و انتهای مقطع مذکور را وارد کرد.



شکل ۳-۱۴. رسم Flux sections با استفاده از مختصات نقاط

این مقطع‌ها را به طور دستی نیز می‌توان زد. برای این کار باید مطابق شکل ۳-۱۵ از نوار Draw گزینه Flux section را انتخاب کرد و با انتخاب کد نشانگر به علامت مثبت تبدیل می‌شود که با هر بار چپ کلیک (غیر از مرتبه اول) یک پاره خط به عنوان مقطع اندازه‌گیری دبی رسم می‌کند. برای خروج می‌توان از راست کلیک استفاده کرد.





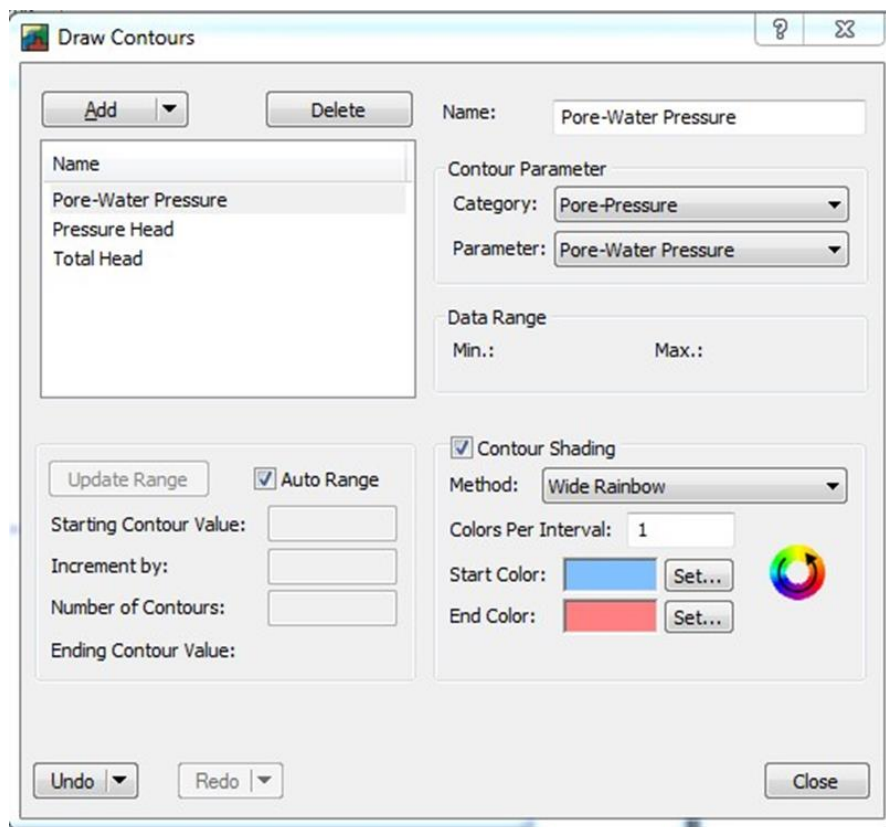
شکل ۳-۱۵. رسم Flux Sections با استفاده از نشانگر موس

۳-۶- اجرای مدل



پس از انجام مراحل فوق، مدل ایجاد شده را ذخیره کرده و از منوی Tools دستور Verify را انتخاب می‌کنیم. در این حالت مجموعه هشدارها، خطاها و نوع امان بندی‌ها مشخص خواهد شد. در صورت نبودن اشکال در ورود داده‌ها، میتوان اقدام به حل پروژه با انتخاب دستور Solve از پنجره Tools و اجرای دستور Start نمود.


۳-۷- مشاهده نتایج


پس از اجرای نرم افزار، با استفاده از گزینه  اقدام به مشاهده نتایج در قالب کنتورها نمود. برای مشاهده کنتور، تغییرات پارامترهای مختلف و شخصی سازی تعداد و رنگ آنها مطابق شکل ۳-۱۶ از نوار Draw گزینه  Contours... استفاده کرد.




شکل ۳-۱۶. منوی Draw Contours برای انتخاب کنتورها

همچنین برای نمایش مقدار هر کنتور از گزینه  Contour Labels استفاده می‌گردد. برای مشاهده مقدار دبی نشت شده از هر مقطع نیز کافسیت منوی  Flux Labels را انتخاب کرده و بر روی مقطع Flux section رسم شده کلیک می‌کنیم تا عدد مربوط به مقدار نشت در واحد عرض مقطع انتخابی نمایان شود.

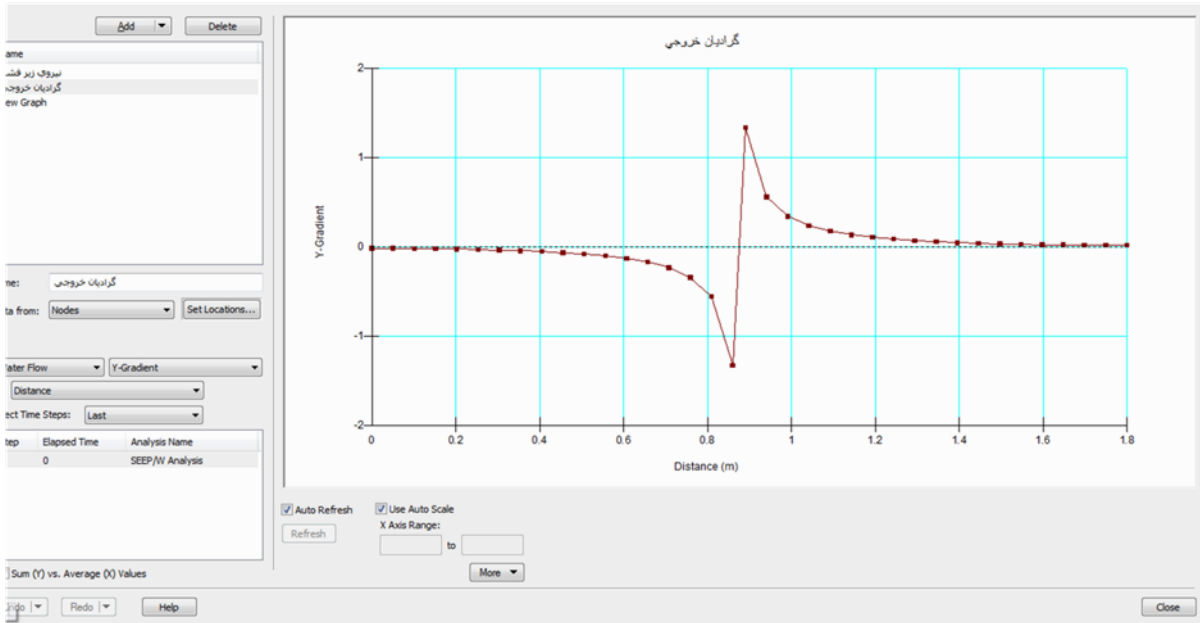
جهت نمایش خطوط جریان ابتدا منوی  Flow Paths از نوار Draw را انتخاب می‌کنیم. سپس بر روی هر نقطه از محیط که کلیک کنیم در صورت وجود خط مسیر جریان را از آن نقطه نمایش می‌دهد.

به منظور مشاهده بردارهای سرعت در سراسر مدل گزینه  Vectors... از نوار Draw را فعال می‌کنیم.

این نرم افزار قابلیت ارائه نتایج را به فرم نمودار یا داده در قالب صفحه گسترده داراست. برای این منظور از پنجره  Graph... از نوار Draw استفاده می‌کنیم. پس از انتخاب این گزینه پنجره‌ای مطابق شکل ۳-۱۷ باز می‌شود. که با استفاده از آن میتوان حالات مختلفی از نمودارهای سرعت، گرادیان هیدرولیکی بحرانی، فشار آب و ... را رسم کرد.

برای این کار ابتدا یک نمودار جدید ایجاد کرده، سپس از پایین صفحه نوع و جنس پارامتر مورد نظر را انتخاب می‌کنیم.

برای مشخص کردن قسمت مورد نظر جهت رسم از گزینه‌های Data From و Set Location استفاده می‌کنیم.



شکل ۳-۱۷. پنجره Draw Garph برای رسم نمودارهای مختلف

۳-۸- بررسی صحت عملکرد نرم افزار

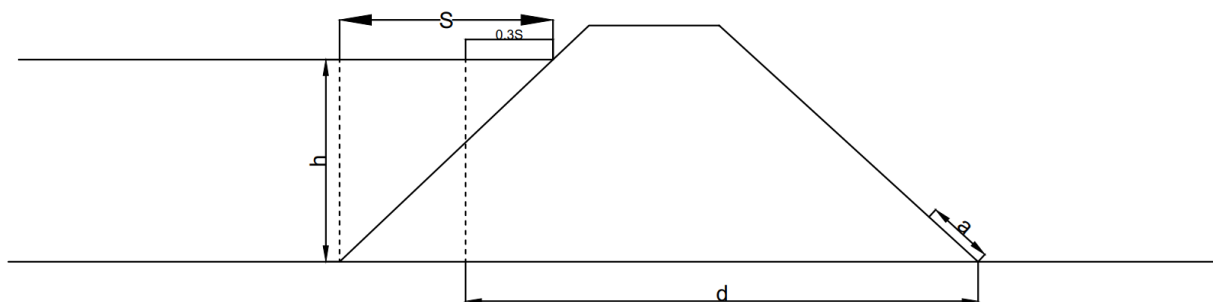
برای مشخص شدن دقت و صحت حل مسائل توسط نرم افزار و کاربر، یک نمونه مساله ساده تراوش در حالت ماندگار از بدنه سد خاکی به صورت دستی تحلیل و جوابهای آن با حل همان مساله توسط نرم افزار مقایسه می شود.

مثال: اگر ضریب نفوذپذیری در یک سد خاکی همگن cm/s $10^{-8} * 6/19$ باشد، میزان دبی خروجی از

واحد طول بدنه سد خاکی با توجه به شکل (۳-۱۸) را محاسبه کنید.

شیبهای بالادست و پایین دست سد به ترتیب برابر با $2/5$ (افقی) به 1 (قائم) و 2 (افقی) به 1 (قائم)

هستند.



شکل ۳-۱۸. مقطع سد خاکی همگن

طبق روابط کاساگرانده^۱، مقدار دبی نشت یافته از بدنه سد خاکی همگن که از واحد طول آن عبور می‌کند (q) را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

برای $30^\circ < \alpha < 60^\circ$:

$$q = k \sin^2 \alpha \quad (۴-۳)$$

$$a = \sqrt{h^2 - d^2} \quad (۵-۳)$$

که α زاویه بین شیب پایین دست و سطح افق می‌باشد و سایر پارامترها روی شکل نشان داده شده است. برای $\alpha < 30^\circ$:

$$q = k \tan^2 \alpha \quad (۶-۳)$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - h^2 \cot^2 \alpha} \quad (۷-۳)$$

این معادله برای زاویه بین ۶۰ تا ۹۰ درجه که به ندرت در سدهای خاکی اتفاق می‌افتد تا ۲۵ درصد خطا دارد.

برای محاسبه دبی عبوری، مطابق روند زیر عمل می‌کنیم:

^۱ -Casa grande

$$S = 78.75 \text{ m}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{1}{2} \rightarrow \alpha = 26.56^\circ$$

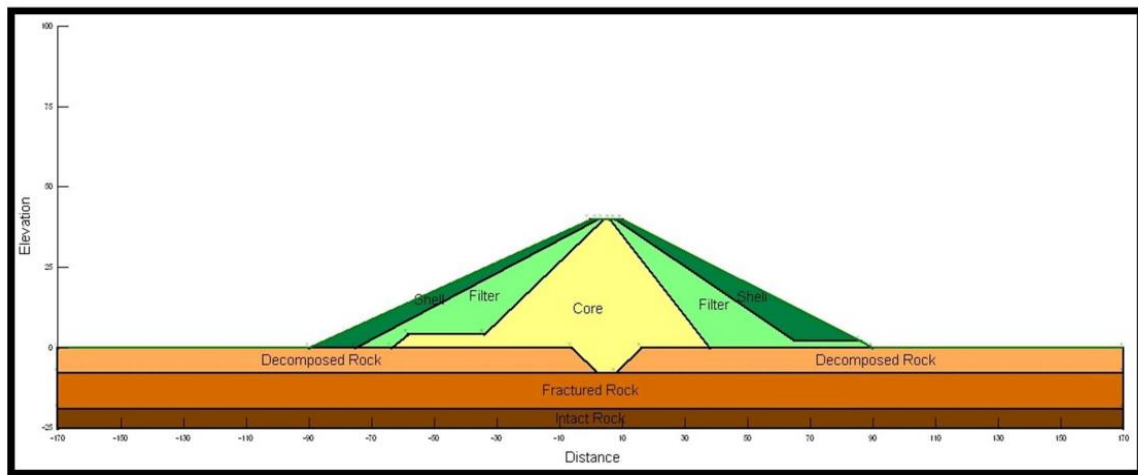
$$\alpha < 30^\circ$$

$$d = 180 - 0.7s = 180 - 0.7 * 78.75 = 124.875 \text{ m}$$

$$a = 124.875 - \sqrt{124.875^2 - 35^2 * \cot^2(26.56^\circ)} = 21.46 \text{ m}$$

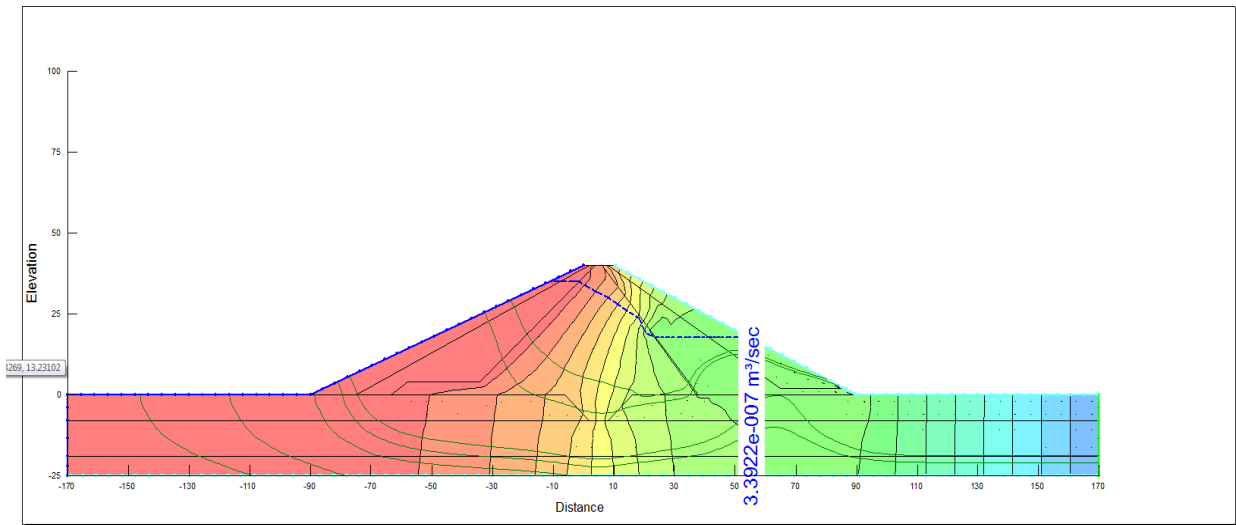
$$q = 6/19 * 10^{-8} * 21.46 * \tan^2(26.56^\circ) = 3.321 * 10^{-7} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

حال این مساله در نرم افزار مدل سازی و تحلیل می شود.



شکل ۳-۱۹. نمونه مدل شده

در شکل زیر مدل تحلیل شده نشان داده شده است:



شکل ۳-۲۰. دبی خروجی در مقطع seepage face

با توجه به شکل (۳-۲۰) دبی به دست آمده توسط نرم افزار $m^3/s/m$ $10^{-7} * 3/39$ می باشد که با مقدار حل دستی $(m^3/s/m)$ $10^{-7} * 3/32$ به دست آمده تقریباً برابر است.

فصل چهارم:

روش تحقیق و مدل سازی سد

۴-۱-مقدمه

در این فصل ابتدا به معرفی سد خاکی بیدواز و سپس به مدل سازی آن در نرم افزار seep/w پرداخته شده و در انتها روش محاسبه مقدار حجم رسوبات و آب و ارتفاع آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۲-معرفی سد بیدواز

۴-۲-۱-کلیات پروژه سد بیدواز

مطالعات مقدماتی رودخانه بیدواز توسط دفتر فنی آب منطقه ای خراسان انجام و ادامه مطالعات فوق در سال ۱۳۶۸ تحت عنوان مطالعات مرحله اول طرح استفاده بهینه از منابع آب سطحی رودخانه بیدواز ، به شرکت مهندسی مشاور طوس آب ابلاغ گردید. مطالعات مرحله اول در سال ۱۳۷۳ تصویب و مطالعات مرحله دوم از سال ۱۳۷۴ شروع و همزمان با آن عملیات اجرایی سیستم انحراف آب سد نیز آغاز گردید. عملیات اجرایی بدنه سد و تاسیسات وابسته در آبان ماه ۱۳۷۸ شروع و در شهریور ۱۳۸۳ توسط شرکت گسترش و نوسازی صنایع ایران (مانا) به اتمام رسیده است.

در مطالعات فوق حجم مخزن بهینه این سد معادل ۵۲/۹ میلیون متر مکعب مشخص و مورد تصویب قرار گرفته که در این مطالعات نیز حجم مخزن مصوب اساس برنامه ریزی منابع آب و تهیه منحنی فرمان بوده است.

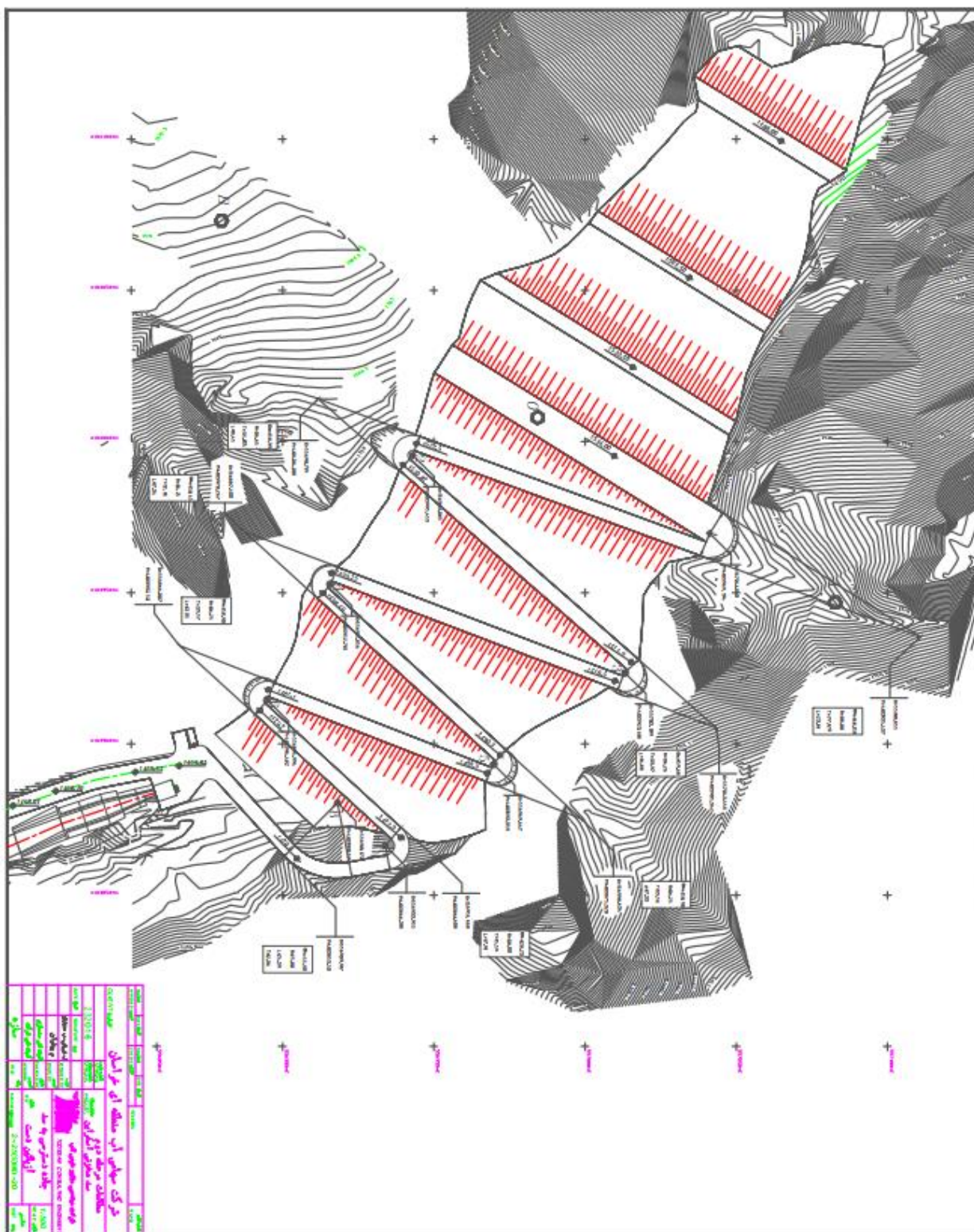
پس از مطالعات انجام شده گزینه احداث سد خاکی، سنگریزه ای با هسته رسی مایل به همراه دیوار آب بند بتن پلاستیک، سرریز از نوع آزاد به عنوان گزینه برتر، اقتصادی و فنی انتخاب گردید [۳۴].

۴-۲-۲-سیمای کلی طرح

طرح احداث سد مخزنی بیدواز به منظور کنترل جریان رودخانه بیدواز و استفاده از آب تنظیم شده سد برای بهبود آبیاری در اراضی کشاورزی پایین دست و همچنین تامین بخشی از آب شرب مورد نیاز شهر اسفراین مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به مطالعات انجام شده در گزینه منتخب، متوسط حجم آب قابل تنظیم سالانه ۳۹/۳ میلیون متر مکعب می‌باشد که ۵ میلیون متر مکعب از آن به آب شرب اختصاص یافته است و ۳ میلیون متر مکعب آب اختصاص یافته به حقابه بری و ۳۱/۳ میلیون مترمکعب متوسط سالانه آب تامین شده کشاورزی منظور شده است. این سد دارای ارتفاع ۶۶ متر از بستر رودخانه با هسته مرکزی و دیواره آب بند به طول تاج دیوار حدود ۱۰۰ متر، ضخامت دیوار ۱۰۰ سانتی متر و حداکثر ارتفاع آن حدود ۹۰ متر پیش بینی شده است.

جدول ۴-۱. مشخصات مخزن سد خاکی بیدواز

حجم کل مخزن سد	۵۲/۹ میلیون مترمکعب
حجم مفید مخزن	۳۱/۹ میلیون مترمکعب
حجم مرده مخزن	۲۱ میلیون مترمکعب
حجم سالانه آورد رودخانه	۵۰/۵ میلیون مترمکعب
سطح مخزن در تراز نرمال	۲۲۶ هکتار



شکل ۴-۱. سیمای کلی طرح [۳۴]

۴-۲-۳- محل و موقعیت طرح

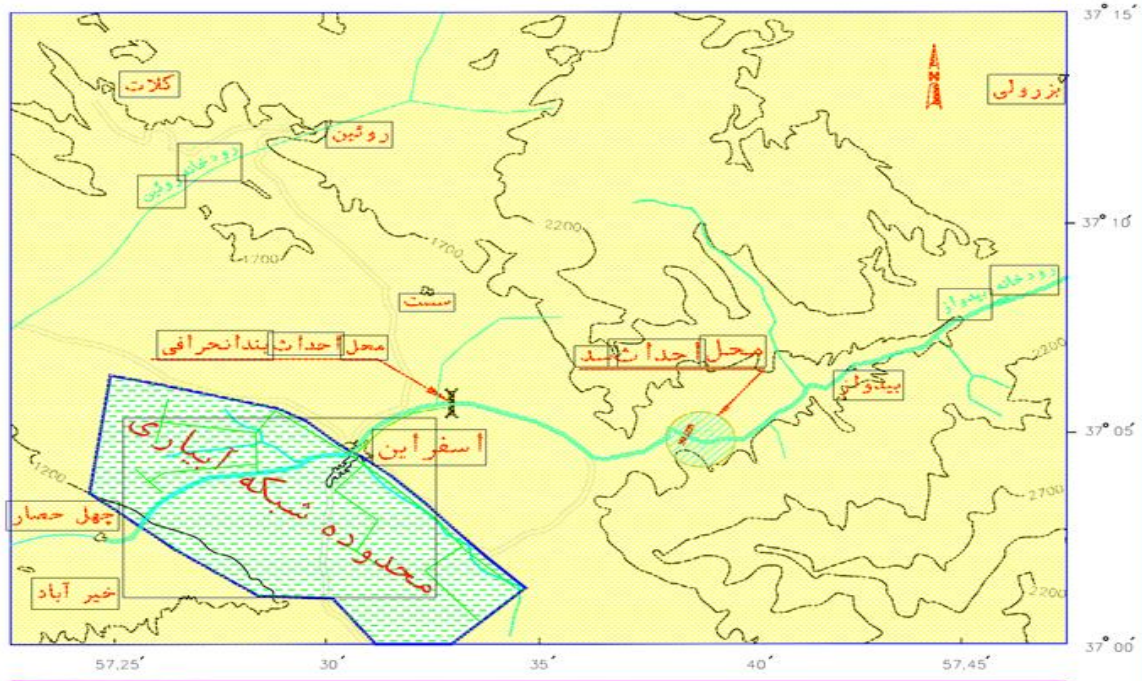
سد اسفراین از نوع خاکی سنگریزه ای با هسته رسی که بر روی رودخانه بیدواز احداث گردیده است. رودخانه بیدواز از دامنه های جنوبی کوه های آلاداغ در شمال غربی استان خراسان سرچشمه گرفته و با جهت شمال شرقی به جنوب غربی از شهر اسفراین گذشته و نهایتاً به دشت کویر می ریزد. احداث این سد با توجه به منابع مستعد خاک و در محدوده شبکه آبیاری باعث توسعه کشاورزی و رشد اقتصادی در منطقه خواهد شد. این سد در ۲۰ کیلومتری شمال شرقی اسفراین در محدوده روستای دنج قرار دارد و از طریق جاده ای آسفالتی به طول ۲۰ کیلومتر قابل دسترسی است.

رودخانه بیدواز به طول حدود ۴۲ کیلومتر (۳۲ کیلومتر در بالادست و ۱۰ کیلومتر پایین دست شهر اسفراین) از ارتفاعات شمال غربی سرچشمه میگیرد و تا ضلع جنوب شرقی دشت اسفراین ادامه مییابد. حوضه بالادست این رودخانه در بالادست شهر اسفراین در حد فاصل طولهای شرقی $57^{\circ}24'$ تا $57^{\circ}56'$ و عرضهای شمالی $37^{\circ}1'$ تا $37^{\circ}14'$ قرار گرفته است. ارتفاع متوسط حوضه $2013/24$ متر از سطح دریا و ارتفاع بلندترین نقطه این حوضه 3000 متر از سطح دریا میباشد و مساحت آن در پایین دست شهر اسفراین $44/93$ کیلومتر مربع می باشد.

۴-۲-۴- راههای دسترسی به طرح

دستیابی به محل سد از طریق جاده آسفالتی به طول ۲۰ کیلومتر که شهر اسفراین را به روستای اردوغان مرتبط می نماید، امکان پذیر می باشد. نزدیکترین روستا به محل سد، روستای دنج بوده که در فاصله حدود یک کیلومتری محور سد و در محدوده مخزن سد واقع شده است.

جمهوری اسلامی ایران
وزارت نیرو
شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان



سد مخزنی و شبکه آبیاری اسفراین

مشاور: شرکت مهندسی مشاور طوس آب
پیمانکار: شرکت ساختمانی گسترش نوسازی صنایع ایران

شکل ۴-۲. موقعیت راه دستیابی به محل سد بیدواز [۳۴]

۴-۲-۵- حجم آب ورودی

به لحاظ سیستم رودخانه ای، این رودخانه از ارتفاعات شاه جهان واقع در سلسله جبال البرز شرقی سر چشمه گرفته و ابتدا در جهت غربی - شرقی جریان یافته و پس از الحاق با شاخه پرچین در امتداد شمال شرق - جنوب غرب تغییر مسیر داده و ضمن دریافت جریان آب از شاخه های فرعی متعدد و عبور از اردغان، دنج و

آب پخش حسن آباد وارد شهر اسفراین شده و در نهایت در پایین دست در انتها به رودخانه جوبین منتهی می‌گردد.

جدول ۴-۲. حجم آب ورودی ۴۴ ساله سد بیدواز بر حسب میلیون متر مکعب [۳۴]

سال	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	مجموع
1	3	9	6.5	7.3	7.1	8.4	4.7	2.9	1.2	2.7	3.8	2.4	59
2	4.9	10.3	5.5	5	3.7	3.3	2.2	1.5	0.6	0.7	0.4	0.8	39.1
3	5.2	17.3	15.5	13.3	12.5	15.6	2.5	1.7	1.9	3.5	4	2.5	95.5
4	21.1	27.7	12.1	13.4	12.3	14.3	13	9.1	5.8	9.7	12.1	9.8	160.6
5	4.4	8.7	5.7	5.2	8.5	9.2	3.6	1.9	1.9	1.6	1.2	1.4	53.2
6	11.6	20.3	6.1	7	5.3	5	6.4	5.1	2.4	2.7	1.9	2.1	75.9
7	4.4	7.8	5.7	6.5	5.5	4.8	1.6	1.6	1.1	1.1	0.9	1.6	42.6
8	13.5	10.4	5.4	4.7	3.8	3.3	2.3	1.5	1.1	1.5	1.4	1.3	50.5
9	4.5	7.4	4.5	4.1	3.3	2.2	1.8	1.3	2	1.3	0.8	0.8	34.2
10	1	7.2	3.8	3.6	2.6	2.1	2.2	1.1	0.9	1	0.5	0.3	26.3
11	0.9	2.9	6.1	4.3	3	2.3	1.6	1.6	0.9	0.7	0.3	0.5	25.2
12	1.2	5.5	5.5	5	3.6	3.7	1.6	1	1.2	0.9	0.6	0.9	30.7
13	2.8	18.7	5.4	4.3	2.7	5	2.3	1.3	0.9	0.8	0.6	0.7	45.6
14	10.1	17.2	5.7	5.4	4.3	3.5	6	4.4	2.4	2.2	2.5	2	65.7
15	3.3	13.4	5.8	4.8	3.4	2.8	1.9	1	1	2	0.9	1.2	41.7
16	4.2	6.8	4.6	4.6	3.5	3.2	2	1.9	0.8	1.1	4.4	5.8	42.9
17	2.3	15.2	6.3	5.5	3.9	3.5	1.8	1.3	0.7	0.8	0.6	0.8	42.7
18	8.2	12.1	7.6	8.2	3.1	2.8	2.7	2.3	1.1	1	0.7	2.2	52.1
19	12.6	12.5	5.9	4.8	3.2	2.8	2.6	4.5	2.4	3.3	3.7	5.6	63.8
20	3.2	4.8	3.1	3.3	3.2	3.5	3	1.9	1.2	1.2	1.1	1.1	30.5
21	14	7.2	4.4	3.9	2.6	1.6	1.5	1	1	1	1.2	1	40.3
22	10.8	22.4	15.7	11.1	6.9	5.2	0.4	1.2	0.5	0.2	0.5	1.1	76.1
23	15.2	26.8	6.1	4.4	7.7	3.2	4.2	3.3	3.3	3.6	4.3	3.7	85.7
24	9.1	9.4	5.4	3.8	2.9	2.3	4.7	1	0.9	0.8	0.6	2.6	43.7
25	2.1	15.1	3.2	2.6	2.2	1.2	0.6	0.3	0.4	0.3	0.3	2.3	30.6
26	8.7	24.9	10.1	3.3	2.7	2.2	1.1	1.2	0.6	0.6	1.5	0.9	57.7
27	1.4	1.7	4.7	3.6	3.1	2.3	1.6	2	2.1	2.4	2.6	1.1	28.6
28	11.9	8	6.4	2	1.8	1.5	4.6	6.6	0.6	0.4	0.2	3.5	47.4
29	13.2	7.7	4.6	2.5	2.1	3.5	0.6	0.7	0.2	2.1	5.5	7.3	50
30	31	12.2	6.5	5.1	3	2.2	2.5	2.2	0.8	2	1.6	4.5	73.6
31	10.1	20.7	14.7	16.6	5	4.5	2.9	3.3	1	0.3	0.2	0.2	79.4
32	4.1	8.8	3.8	5	1.8	1.3	4.8	1.6	2.9	2.6	3.6	1.5	41.8
33	2	7.8	3	1.7	1.4	1.2	5.9	0.9	0.4	0.4	0.3	0.3	25.5
34	4.9	3.9	3.8	1.6	1.3	0.7	0.8	0.5	0.5	0.7	0.8	0.4	19.9
35	2.8	2	1.5	1.3	1.1	0.7	3	1.3	0.4	0.4	0.3	0.4	15.2
36	4.1	12.1	4.4	5.1	4.4	2.4	1	0.8	0.9	0.5	0.4	0.6	36.7
37	8.3	20.1	11	9	7.3	9.1	1.7	1.1	0.9	0.4	0.4	2.4	71.7
38	15	27.5	9.9	7.4	7.3	5.6	2.5	2.3	0.8	0.8	1.2	9	89.1
39	3.4	3.5	3	2	2.1	1.7	2.3	1.7	2.5	1.6	1.2	1.2	26.3
40	2.1	5.8	2.5	2.4	1.3	0.7	0.8	0.5	1.2	1.2	0.9	1	20.4
41	3.9	6.4	3	2.1	1.1	0.7	0.8	1	0.5	0.9	0.6	0.5	21.5
42	15.6	22.8	9.3	7	4.6	3.7	0.9	0.9	0.8	0.3	0.3	0.5	66.6
43	6.5	22.1	11.8	5.5	6.2	4.8	3.2	1.1	0.9	2	2.5	6.3	73
44	3.5	3.1	3	2	1.2	0.7	2.7	2.4	0.8	0.8	0.8	1.7	22.6
میانگین	7.4	12.2	6.3	5.3	4.1	3.7	2.7	2	1.3	1.5	1.7	2.2	50.5

۴-۲-۶- رسوب

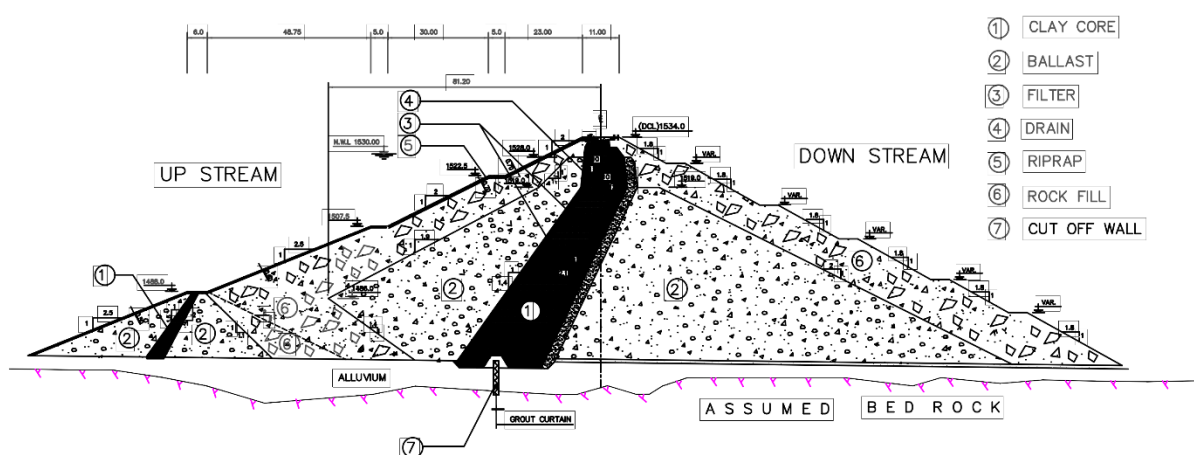
در مطالعات هیدرولوژی مقدار حجم کل رسوبات حمل شده به مخزن سد در طول دوره ۵۰ ساله بهره برداری معادل ۲۱ میلیون متر مکعب برآورد شده است. با عنایت به اینکه در مطالعات بهره برداری از مخزن و تهیه

منحنی فرمان رسوب گذاری پویا در طول بهره برداری مورد نظر قرار گرفته است، لذا در این مطالعات حجم رسوبات حمل شده ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ساله محاسبه و ارائه شده است که براساس نتایج ارائه شده در گزارش هیدرولوژی به ترتیب معادل ۴۱، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۱ میلیون مترمکعب می باشد.

۴-۲-۷- بدنه سد

این سد با ارتفاع ۶۶ متر، طول تاج ۱۰۴ متر و عرض تاج ۱۰ متر، حجم مفید مخزن حدود ۳۲ میلیون متر مکعب را دارد. آببندی بخش آبرفتی از طریق یک دیوار بتن پلاستیک انجام گرفته است و برای آببندی بخش سنگی از پرده تزریق استفاده شده است. تراز تاج سد ۱۵۳۴ و تراز نرمال سد ۱۵۳۰ متر می باشد. این سد با هدف کنترل و تنظیم رواناب و بخصوص سیلاب رودخانه به منظور بهره برداری از آب استحصالی در کشاورزی دشت اسفراین و تامین بخشی از آب شهر اسفراین ساخته شده است.

این مقطع از ۸ بخش مختلف شامل پی سنگی، پرده تزریق، تزریق تحکیمی، هسته سد، پوسته، فیلتر، زهکش و لایه های محافظتی تشکیل شده است [۳۴].



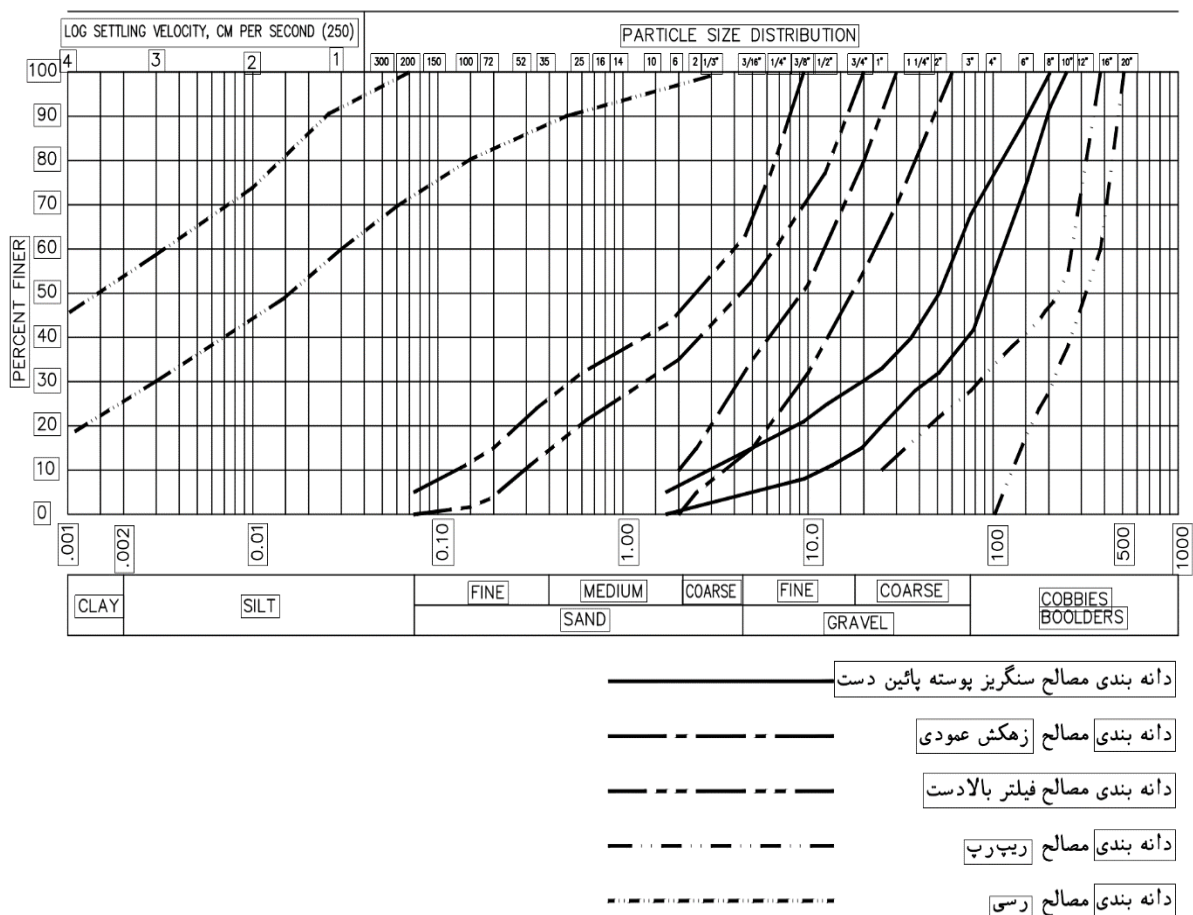
شکل ۴-۳. مقطع عرضی سد و مصالح آن [۳۴]

۴-۲-۸-آب بندی پی

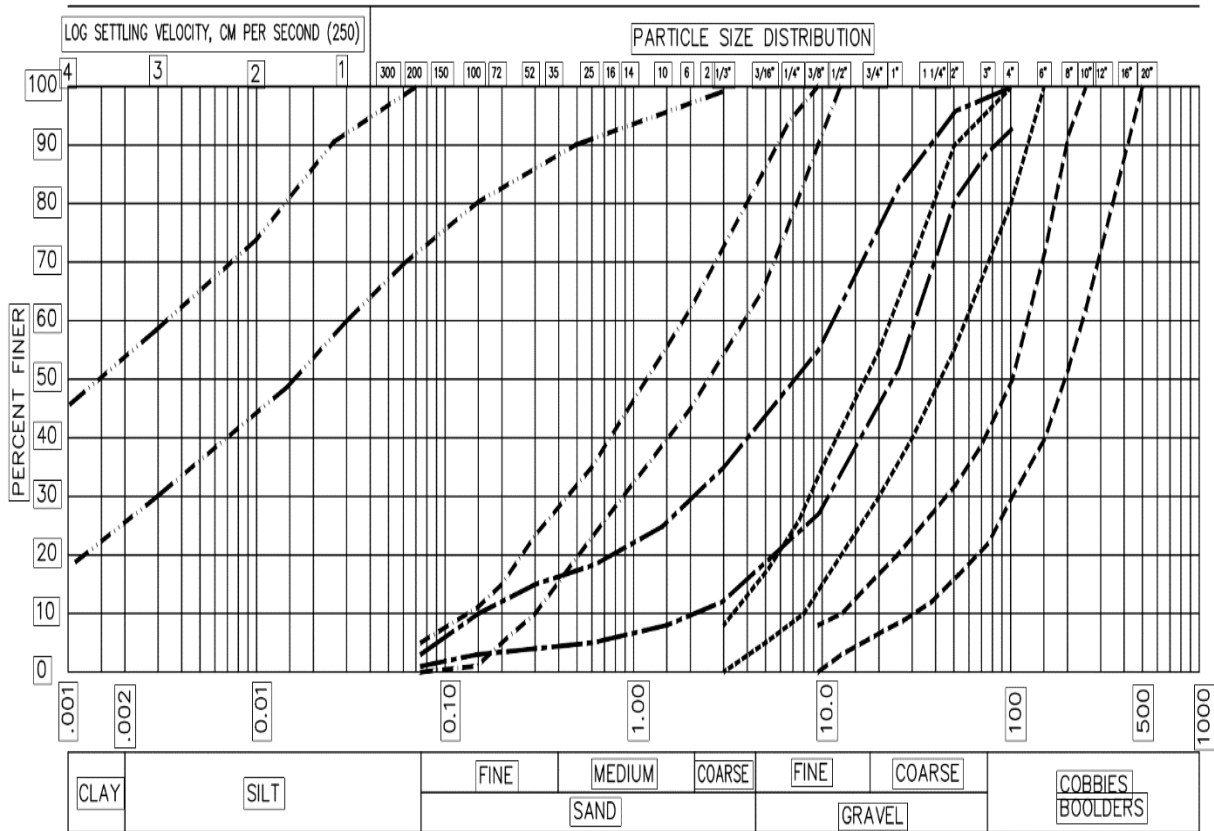
به منظور کنترل تراوش آب در پی آبرفتی، دیوار آب بند بتن پلاستیک احداث شده است. نفوذپذیری دیوار آب بند حدود $10^{-8} \frac{m}{s}$ ضخامت دیوار ۱۰۰ سانتی متر و طول تاج دیوار حدود ۱۰۰ متر، گزارش شده است [۳۶].

۴-۲-۹-مصالح سد

با توجه به نمونه گیری و انجام آزمایشات مختلف، محل هایی برای تهیه مصالح مشخص گردید که پوش دانه بندی این مصالح در شکل شماره (۴-۴) و (۵-۴) نمایش داده شده است.



شکل ۴-۴. پوش دانه بندی مصالح



- دانه بندی مصالح سنگریز پوسته بالادست
- دانه بندی مصالح زهکش افقی
- دانه بندی مصالح درهم بالادست
- دانه بندی مصالح فیلتر پائین دست
- دانه بندی مصالح رسی

شکل ۴-۵. پوش دانه بندی مصالح [۳۴]

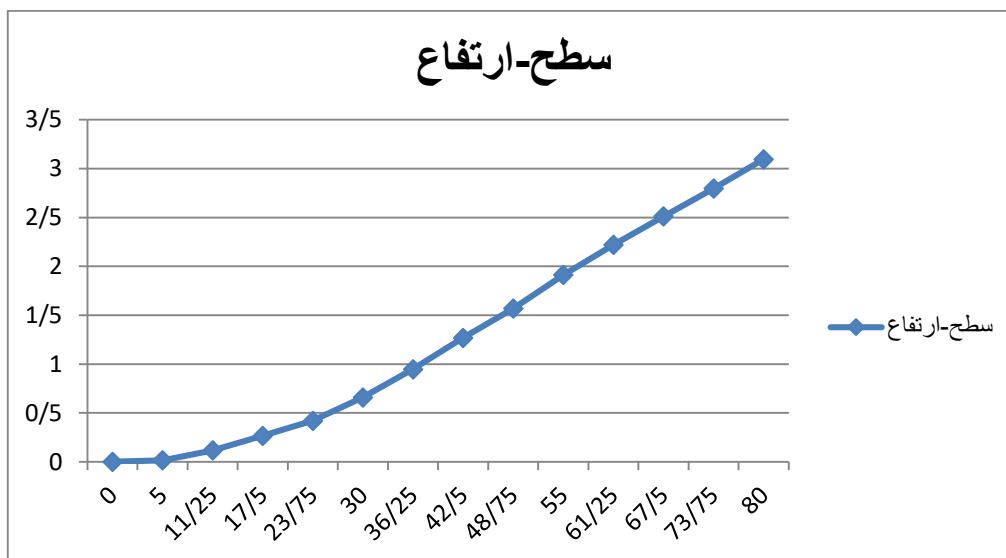
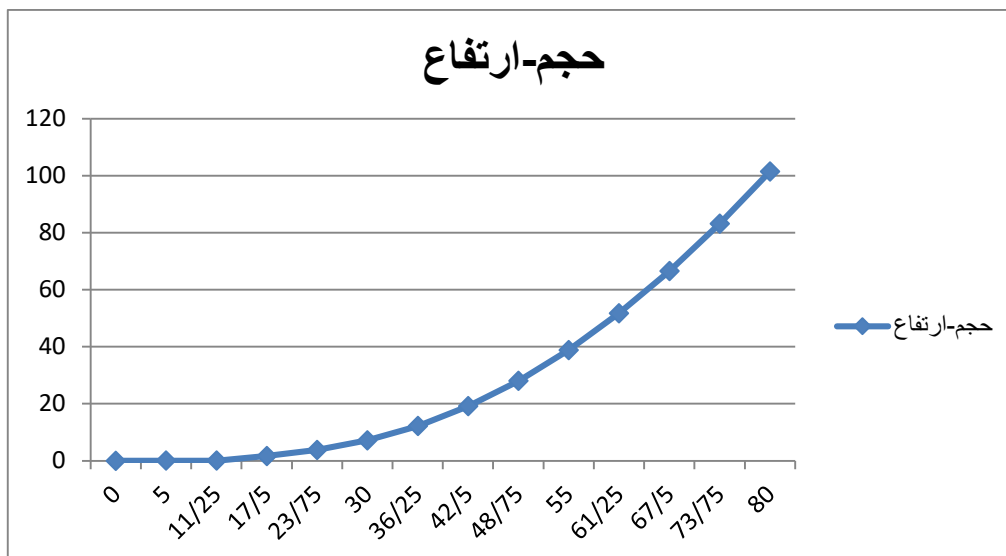
۴-۲-۱۰- مشخصات سطح و حجم مخزن سد

مشخصات سطح و حجم مخزن بر حسب ارتفاع سد بیدواز در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۴-۳. مشخصات سطح و حجم مخزن [۳۴]

ارتفاع (m)	حجم (M.C.M)	سطح (km^2)
۰	۰	۰
۵	۰/۰۳۷۵	۰/۰۱۵
۱۱,۲۵	۰/۰۴۵	۰/۱۱۷
۱۷,۵	۱,۶۵	۰,۲۶۶
۲۳,۷۵	۳,۷۹	۰,۴۲۰۵
۳۰	۷,۱۶	۰,۶۵۸۵
۳۶,۲۵	۱۲,۱۸	۰,۹۴۷
۴۲,۵	۱۹,۱	۱,۲۶۷۷
۴۸,۷۵	۲۷,۹۷	۱,۵۶۷۸
۵۵	۳۸,۸۳	۱,۹۱۱۵
۶۱,۲۵	۵۱,۷۴	۲,۲۱۹۵
۶۷,۵	۶۶,۵۲	۲,۵۱۰۵
۷۳,۷۵	۸۳,۱	۲,۷۹۵۷
۸۰	۱۰۱,۵	۳,۰۹۵۶

با توجه به مقادیر حجم و سطح داده شده و ارتفاع آن ها، در نرم افزار اکسل نمودارهای مربوط به سطح و حجم مخزن نسبت به ارتفاع رسم گردیده و در شکل زیر نشان داده شده است.



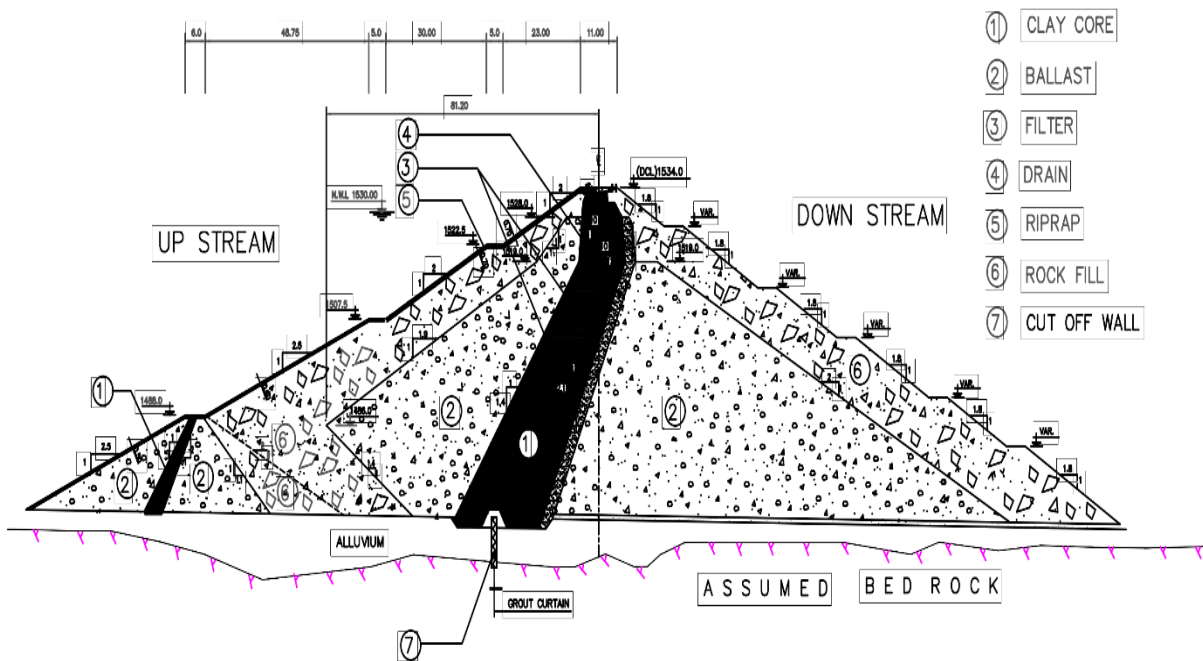
شکل ۴-۶. نمودارهای سطح و حجم بر حسب ارتفاع

۴-۳- محاسبات

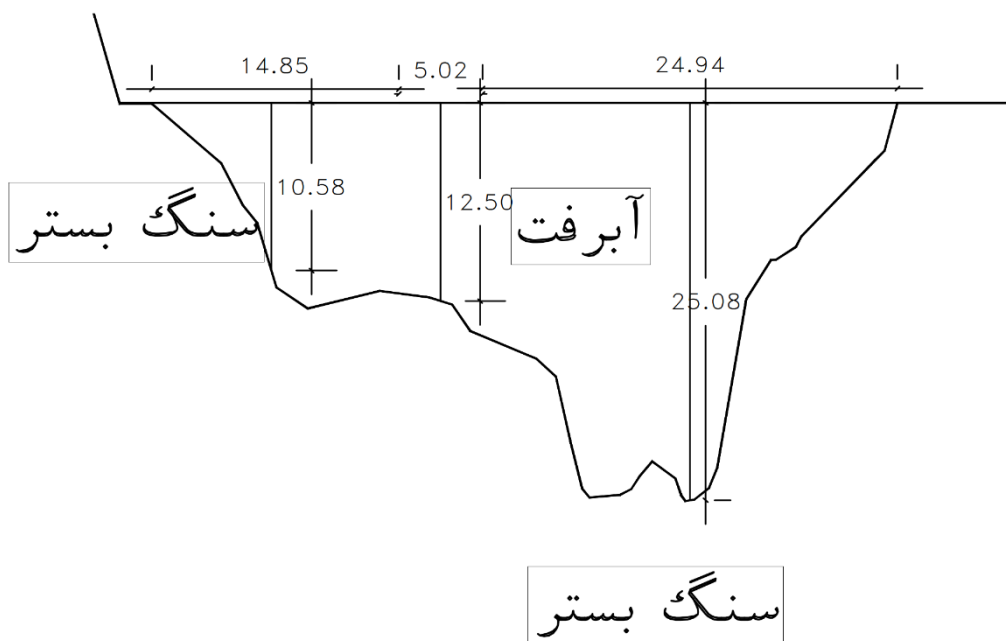
از آنجا که مقدار نشت عموماً در چند سال اول و به دلیل عدم وجود رسوب در کف دریاچه می‌تواند قابل ملاحظه باشد و سپس به تدریج با افزایش ارتفاع رسوبات از میزان نشت کاسته می‌شود، در این تحقیق میزان نشت از پی سد در ۵ سال اولیه بهره‌برداری مورد بررسی قرار گرفته و پیش‌بینی شده است که از آن پس مقدار نشت به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. به دلیل اختلاف در آورد رودخانه و برداشت آب در نیمسال‌های مختلف، و برای دقت بیشتر، در مجموع ۱۰ نیمسال مورد بررسی قرار گرفت.

برای مدل سازی، با توجه به برش عرضی سد، با توجه به ضخامت آبرفت ۳ مقطع در نظر گرفته شد که بتوان مقدار نشت را در هر مقطع به صورت دویعدی در نرم افزار محاسبه کرد و با توجه به طول بستر نفوذپذیر مربوط به هر مقطع، مقدار دبی کل را به دست آورد.

طول پی‌های نفوذپذیر ۱، ۲ و ۳ در امتداد محور سد به ترتیب ۵،۰۲، ۲۴،۹۴ و ۱۴،۸۵ متر می‌باشد. از آن جا که مقدار نشت از پی در مقاطعی که پی آبرفتی وجود ندارد برابر صفر است، در نتیجه از مدل سازی آن صرف نظر می‌شود.



شکل ۴-۷. مقطع عرضی سد بیدواز



شکل ۴-۸. مقطع طولی سد [۲۴]

۴-۳-۱- محاسبات متوسط رسوب و متوسط حجم آب

طبق گزارشات مربوط به پروژه سد بیدواز، تخصیص آب کشاورزی $31/3$ میلیون مترمکعب در سال است که فرض می‌شود همه آن باید در نیم سال اول در اختیار کشاورزی قرار داده شود.

باتوجه به نیاز شرب پیش بینی شده برای شهر اسفراین در دراز مدت و تامین آن از منابع مختلف، ۵ میلیون مترمکعب از آب تنظیم شده سد اسفراین به این امر اختصاص یافته است.

فرض می‌گردد پس از تامین آب کشاورزی مورد نیاز، هر مقدار از حجم مخزن که امکان پذیر بود، در نیمسال ۱ به آب شرب اختصاص داده شود و مابقی در صورت وجود آب در نیمسال ۲ به این امر اختصاص یابد.

جدول (۴-۴) مقدار حجم رسوب و حجم آب موجود در مخزن را در نیمسال‌های مختلف و برای ۵ سال اولیه بهره برداری نشان می‌دهد.

طبق گزارشات مشاور طرح، حجم رسوب سالانه به طور میانگین $0/4$ میلیون مترمکعب و متوسط رواناب سالانه $50/5$ میلیون مترمکعب است. هم چنین طبق جدول (۴-۲) مقدار آورد رودخانه برای نیمسال اول $41/3$ میلیون مترمکعب می باشد.

برای نمونه، نحوه محاسبه مقدار ارتفاع آب و رسوب برای نیمسال ۱ سال اول به شرح زیر است:

$$\text{درصد حجمی رسوبات} : 0/4 \div 50/5 = 0/00792$$

$$\text{حجم رسوبات} : 0/00792 * 41/3 = 0/327 \text{ mcm}$$

$$\text{حجم آب تنها} : 41/3 - 0/327 = 40/973 \text{ mcm}$$

در این نیمسال حجم تجمعی رسوبات، همان حجم رسوبات نیمسال اول یعنی $0/327$ می باشد.

حجم تجمعی رسوب - حجم مرده مخزن = حجم آب موجود در بالای تراز رسوبات در پایان نیمسال اول

$$21 - 0/327 = 20/673 \text{ mcm}$$

با توجه به این که مقادیر رسوب و آب در پایان ۶ ماه می باشد، بنابراین برای مدلسازی در نرم افزار از مقادیر متوسط آن ها استفاده کردیم.

$$\left(\frac{\text{حجم رسوب نیمسال مورد نظر}}{2} \right) + \text{حجم تجمعی رسوب در نیمسال قبل} = \text{متوسط رسوب}$$

$$0/327 \div 2 = 0/163 = \text{متوسط رسوب در نیمسال 1 سال اول}$$

متوسط حجم آب در بالای تراز رسوبات هم مشابه متوسط رسوب محاسبه می شود:

$$20/673 \div 2 = 10/336 = \text{متوسط حجم آب در نیمسال 1 سال اول}$$

جدول ۴-۴. محاسبه حجم رسوب و حجم آب (میلیون مترمکعب)

سال	نیمسال	آورد رودخانه	حجم رسوبات	حجم آب تنها	حجم تجمعی رسوبات	حجم آب موجود در بالای رسوبات در پایان نیمسال	متوسط حجم رسوب	متوسط حجم آب
۱	۱	۴۱/۳	۰/۳۲۷	۴۰/۹۷۳	۰/۳۲۷	۲۰/۶۷۳	۰/۱۶۳	۱۰/۳۳۶
	۲	۱۷/۷	۰/۱۴۰	۱۷/۵۶	۰/۴۶۷	۲۰/۵۳۳	۰/۳۹۷	۲۰/۶۰۳
۲	۱	۳۲/۷	۰/۲۵۹	۳۲/۴۴	۰/۷۲۶	۲۰/۲۷۴	۰/۵۹۶	۲۰/۴۰۳
	۲	۶/۲	۰/۰۴۹	۶/۱۵۱	۰/۷۷۵	۲۵/۲۵۵	۰/۷۵۰	۲۲/۹۶۴
۳	۱	۷۹/۴	۰/۶۲۹	۷۸/۷۷۱	۱/۴۰۴	۷۰/۱۹۶	۱/۰۸۶	۴۷/۷۲۵
	۲	۱۶/۱	۰/۱۲۷	۱۵/۹۷۳	۱/۵۳۱	۸۵	۱/۴۶۷	۷۷/۵۹۸
۴	۱	۱۰۰/۹	۰/۸۰۰	۱۰۰/۱	۲/۳۳۱	۱۵۱/۲۷	۱/۹۳۱	۱۱۸/۱۳۵
	۲	۵۹۰/۵	۰/۴۷۱	۵۹/۰۲۹	۲/۸۰۲	۲۰۹/۱۲۹	۲/۸۰۱	۱۰۰/۲
۵	۱	۴۱/۷	۰/۳۳	۴۱/۳۷	۳/۱۳۲	۲۱۶/۶۶۹	۲/۹۶۷	۲۱۲/۹
	۲	۱۱/۶	۰/۰۹۱	۱۱/۵۰۹	۳/۲۲۳	۲۲۷/۰۰۸	۳/۱۷۷	۲۲۱/۸۴

۴-۳-۲- محاسبات مربوط به حجم و ارتفاع رسوبات و آب و نیز طول رسوبات

در امتداد رودخانه

با توجه به محاسبات مربوط به حجم آب و حجم رسوب در جدول (۴-۴) و نیز ارتباط بین حجم و سطح مخزن در جدول (۴-۳) و با استفاده از درون یابی ارتفاع آب و رسوبات که در جدول (۴-۳) آمده است، طول رسوبات در امتداد رودخانه بالادست محاسبه می‌شود (جدول (۴-۵))

به عنوان نمونه ارتفاع رسوب در نیمسال ۱ سال اول به صورت زیر محاسبه می‌شود:

حجم رسوب در این نیمسال ۰/۱۶۳ mcm می باشد.

طبق جدول (۳-۴)

ارتفاع (m)	حجم (mcm)
۱۱/۲۵	۰/۰۴۵
۱۷/۵	۱/۶۵

سپس با استفاده از درون یابی داریم:

$$y - 17.5 = \frac{17.5 - 11.25}{1.65 - 0.045} (0.163 - 1.65)$$

ارتفاع رسوب و ارتفاع آب در تمامی نیمسالها همانند روش بالا می باشد که نتایج آن در جدول (۴-۵)

آورده شده است.

قابل ذکر است با توجه به شیب ۱ درصد رودخانه، طول رسوبات محاسبه شده و در جدول (۴-۵) آورده

شده است. به عنوان مثال داریم:

$$100 * \text{ارتفاع رسوب} = \text{طول رسوب}$$

$$1171 \text{ m} = 11.71 * 100 = \text{طول رسوبات در نیمسال 1 سال اول}$$

جدول ۴-۵. ارتفاع رسوب و حجم رسوب و حجم آب

سال	نیمسال	متوسط حجم رسوب (mcm)	متوسط حجم آب (mcm)	مجموع حجم آب و رسوب (mcm)	ارتفاع رسوب در محل سد (m)	هد آب (m)	طول رسوب (m)
۱	۱	۰/۱۶۳	۱۰/۳۳۶	۱۰/۵	۱۱/۷۱	۳۳/۹۵۴	۱۱۷۱
	۲	۰/۳۹۷	۲۰/۶۰۳	۲۱	۱۲/۶۲	۴۳/۵۶	۱۲۶۲
۲	۱	۰/۵۹۶	۲۰/۴۰۳	۲۱	۱۳/۳۹	۴۳/۴۲	۱۳۳۹
	۲	۰/۷۵۰	۲۲/۷۶۴	۲۳/۵۱۴	۱۴	۴۵/۰۸۱	۱۴۰۰
۳	۱	۱/۰۸۶	۴۷/۷۲۵	۴۸/۸۱۱	۱۵/۳۰۳	۵۹/۳۰۶	۱۵۳۰/۳
	۲	۱/۴۶۷	۷۷/۵۹۸	۷۹/۰۶۵	۱۶/۷۸۷	۶۰*	۱۶۷۸/۷
۴	۱	۱/۹۳۱	۱۱۸/۱۳۵	۱۲۰/۰۶۶	۱۸/۳۲	۶۰	۱۸۳۲
	۲	۲/۸۰۱	۱۰۰/۲	۱۰۳/۰۰۱	۲۰/۸۶۱	۶۰	۲۰۸۶/۱
۵	۱	۲/۹۶۷	۲۱۲/۹	۲۱۵/۸۶۷	۲۱/۳۴۶	۶۰	۲۱۳۴/۶
	۲	۳/۱۷۷	۲۲۱/۸۴	۲۲۵/۰۱۷	۲۱/۹۵۹	۶۰	۲۱۹۵/۹

*به دلیل این که از تراز نرمال بالاتر به دست آمده است، ارتفاع آن معادل ارتفاع تراز نرمال یعنی ۶۰ متر فرض گردید.

۴-۳-۳- نفوذپذیری اشباع مصالح

در گزارشات سد خاکی بیدواز مقدار نفوذپذیری دیوار آب بند m/s 10^{-8} گزارش شده است. برای به دست

آمدن دیگر نفوذپذیری‌ها از روابط تجربی استفاده شده است [۳۳].

یکی از روابط تجربی برای محاسبه میزان نفوذپذیری خاک‌ها، رابطه هیزن (Hazen) می‌باشد که به صورت زیر است.

$$K = 0.01 * D_{10}^2 \quad (۱-۴)$$

در معادله بالا

K: ضریب نفوذپذیری خاک (m/s)

D_{10} : اندازه موثر (mm)

با استفاده از فرمول (۴-۱) و پوشش دانه بندی مصالح (شکل (۴-۴) و (۴-۵)) و مقدار D_{10} ، مقدار

نفوذپذیری مصالح محاسبه می شود. جدول (۴-۶)

جدول ۴-۶. اندازه موثر و دانه بندی مصالح

K(m/s)	D_{10} (mm)	مصالح
$64 * 10^{-9}$	۰/۰۰۰۸	هسته رسی
$49 * 10^{-3}$	۷۰	ریپ رپ
$9 * 10^{-3}$	۳۰	راکفیل بالادست
$36 * 10^{-2}$	۶	راکفیل پایین دست
$1/0.89 * 10^{-6}$	۰/۳۳	فیلتر

با توجه به گزارشات، میزان نفوذپذیری رسوبات m/s $10^{-5} * 2/5$ می باشد.

۴-۴-۴ مدل سازی در نرم افزار

در این قسمت، سد در حالت با آب بند و بدون رسوب، حالت بدون آب بند و حضور رسوب، حالت با آب بند و

حضور رسوب و حالت با آب بند کوتاه و حضور رسوب مدل سازی می شود.

۴-۴-۱-مدل سازی سد با حضور آب بند و بدون رسوب

۴-۴-۱-۱-تعریف مشخصات مدل

همان طور که در فصل قبل توضیح داده شد، برای شروع کار ابتدا مشخصات و نوع آنالیز برنامه را تعریف می‌کنیم. برای این منظور از طریق منوی KeyIn Analyses نوع آنالیز را Steady state انتخاب و بقیه پارامترها را به طور پیش فرض وارد می‌کنیم.

۴-۴-۱-۲-ترسیم هندسه مدل

برای ترسیم هندسه مدل، ابتدا با در نظر گرفتن شیب‌ها و ابعاد، مختصات گره‌ها را مشخص کرده و آنها را با استفاده از تب *Draw* → *Point* علامت گذاری می‌کنیم.

به کمک منوی *Draw* گزینه *Line*، بین نقطه‌ها خطوط را رسم می‌کنیم. سپس با استفاده از دستور *Draw* → *Regions* و اتصال نقاط به هم و ایجاد نواحی مورد نظر، مدل هندسی سد را ترسیم می‌کنیم. نتیجه این مراحل در شکل (۴-۹) قابل مشاهده است.

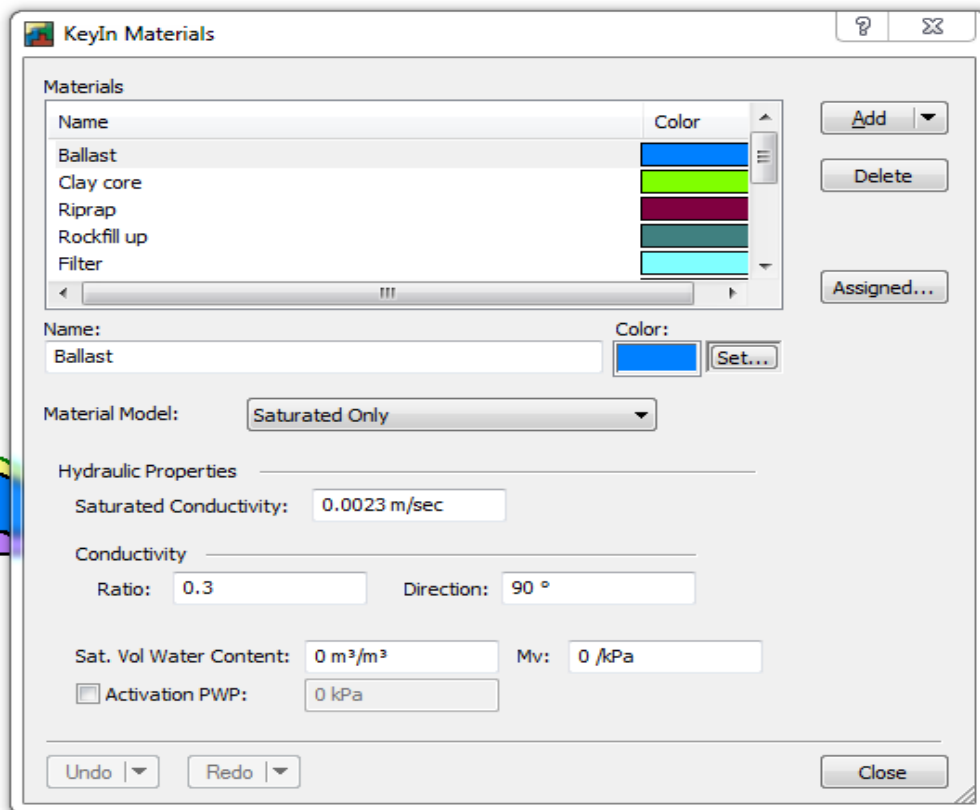


شکل ۴-۹. ترسیم نقاط، خطوط و ناحیه بندی سد

۴-۴-۱-۳-معرفی مشخصات مصالح

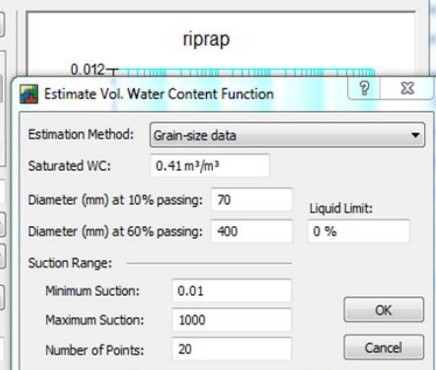
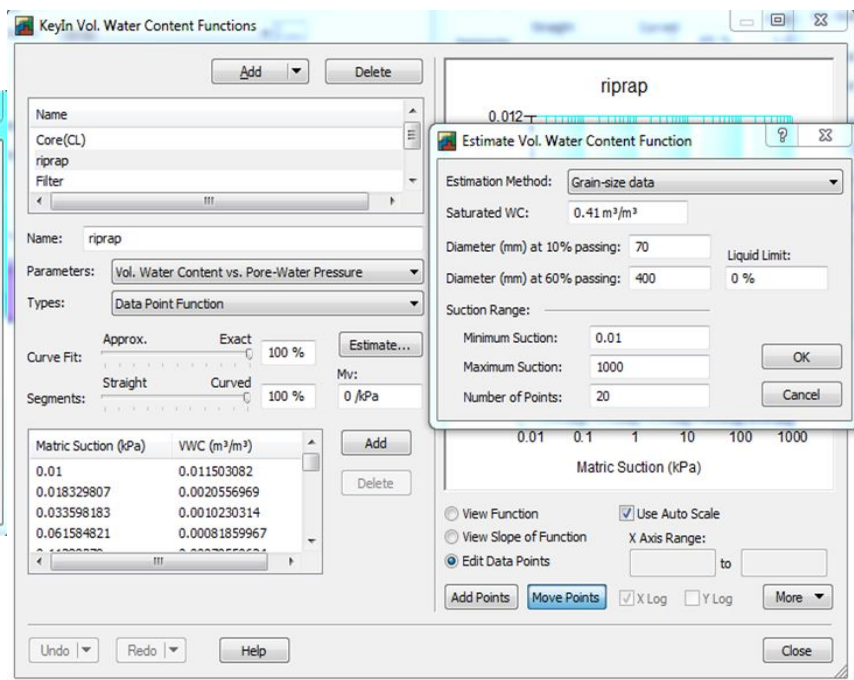
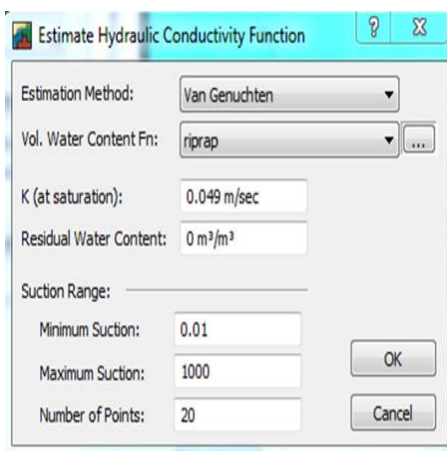
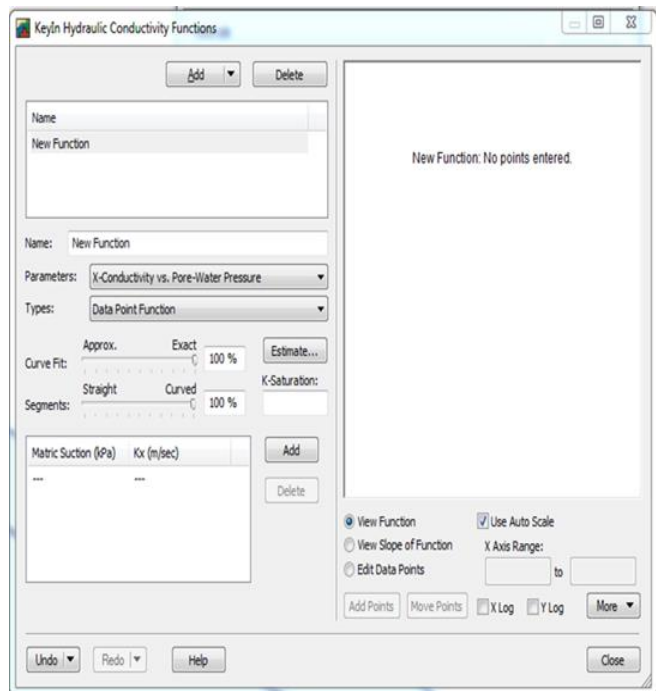
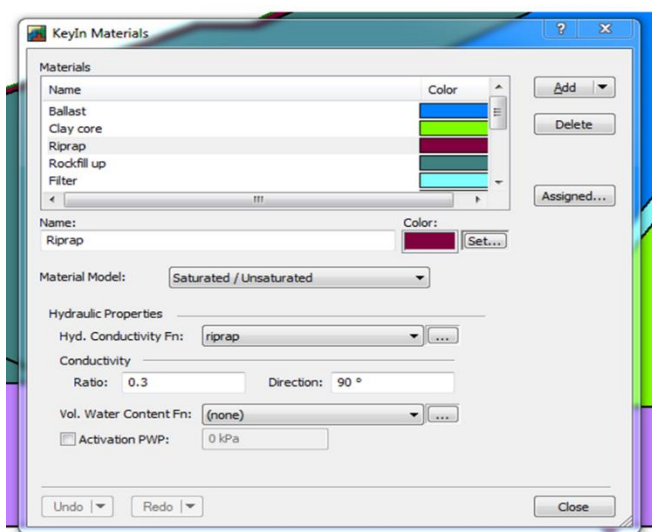
ابتدا از منوی KeyIn گزینه *Materials* را انتخاب و پس از *Add* کردن مصالح موردنظر همراه با اسم و رنگ آن از قسمت *Material Model* به صورت زیر عمل می‌کنیم.

برای مصالحی که قطعا پایین تر از سطح آب هستند مانند فونداسیون، زهکش مایل و ... گزینه saturated only را انتخاب کرده و مقدار ضریب نفوذپذیری اشباع را که در قسمت ۳-۳-۴ گفته شد را در conductivity وارد می‌کنیم و در قسمت Ratio که مقدار $\frac{k_x}{k_y}$ می‌باشد، طبق گزارشات برابر ۰/۳ در نظر می‌گیریم.



شکل ۴-۱۰. مشخصات مصالح اشباع

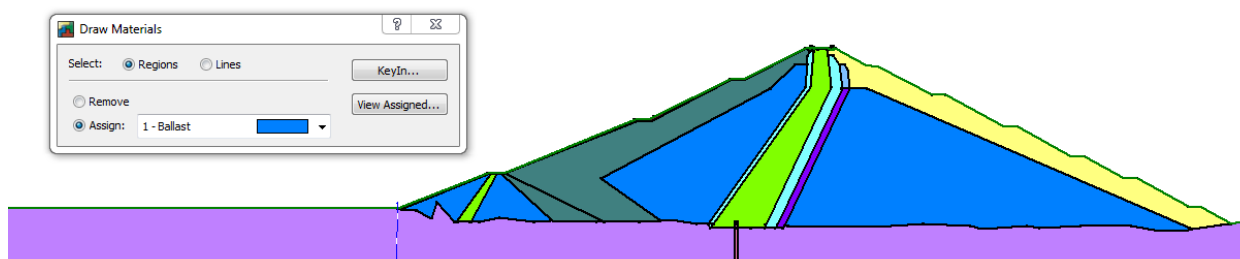
سپس مصالحی که بالاتر از تراز آب هستند یا تراز آب از میان آن‌ها می‌گذرد مانند هسته، ریپ رپ و ... از نوع saturated/unsaturated تعریف شدند. برای این مصالح با استفاده از پوشش دانه بندی مطابق شکل‌های (۴-۴) و (۴-۵) از قسمت ساخت تابع (Hyd.Conductivity Fn) و از قسمت type حالت Data-point Function تابع موردنظر برحسب اندازه ذرات رسم گردید. شکل (۴-۱۱)



شكل ۴-۱۱. مشخصات مصالح اشباع / غير اشباع

۴-۱-۴-۴- تخصیص مصالح

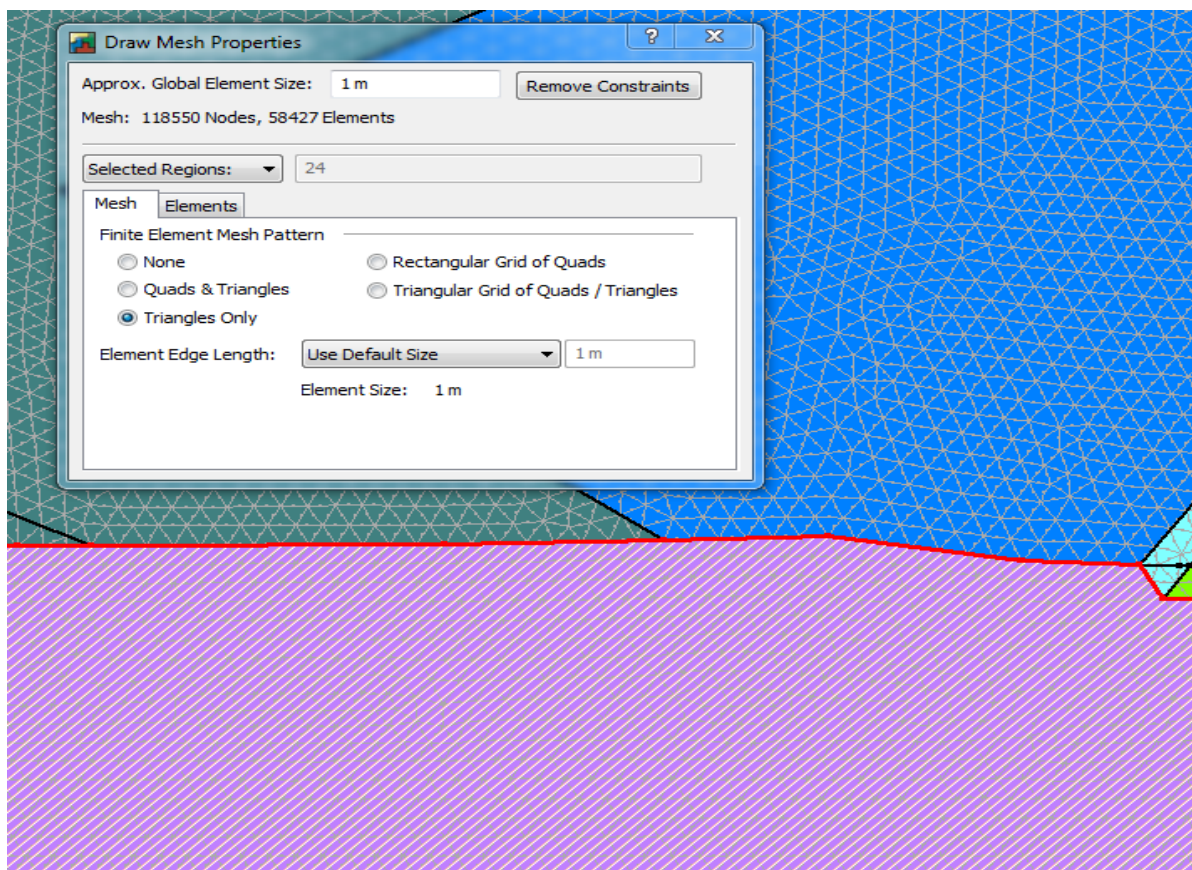
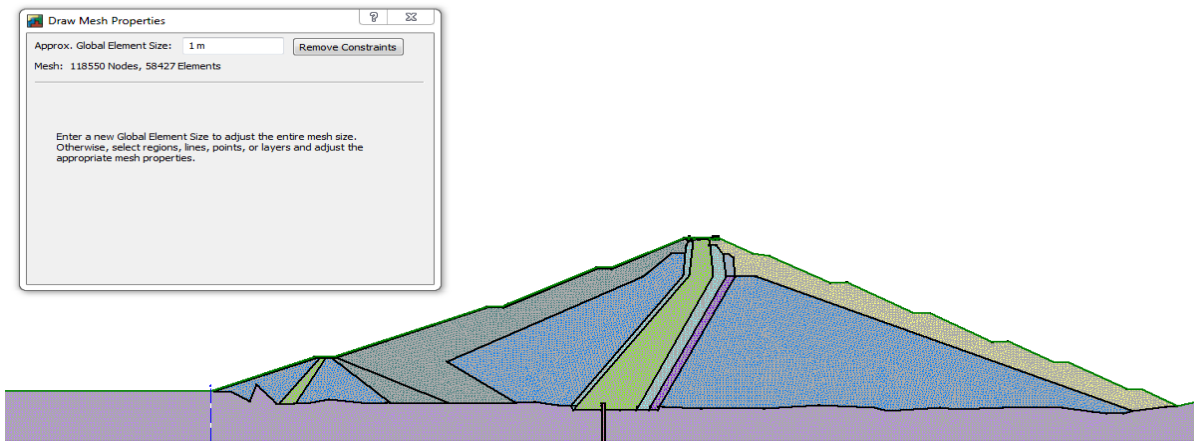
حال پس از تعریف مصالح، هر کدام از مصالح را به ناحیه‌ی مربوط به آن در نرم افزار تخصیص می‌دهیم. برای این امر مطابق شکل (۴-۱۲) و با استفاده از منوی *Draw → Materials* با انتخاب هر کدام از مصالح و کلیک در ناحیه مورد نظر، هر نوع مصالح به ناحیه مربوط به آن تخصیص می‌یابد.



شکل ۴-۱۲. تخصیص مصالح

۴-۱-۴-۵- مش بندی

بعد از تخصیص مصالح، باید مدل ترسیم شده مش بندی شود و با تقسیم ناحیه‌های ترسیم شده به المان‌های کوچکتر، مدل برای آنالیز المان محدود آماده شود. در این مرحله از المان‌های مثلثی سه گرهی با طول اضلاع حداکثر ۱ متر برای تمامی مصالح صورت پذیرفت.



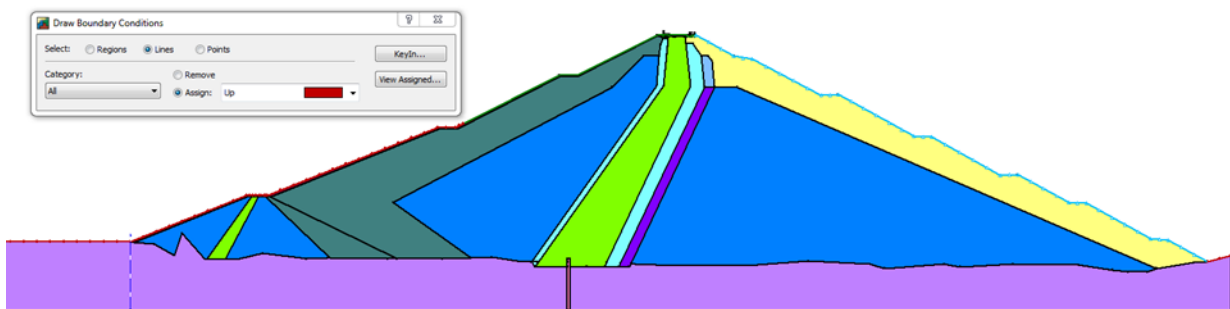
شکل ۴-۱۳. مش بندی مدل

۴-۴-۱-۶- اعمال شرایط مرزی

برای تعریف و تخصیص شرایط مرزی در نرم افزار، ابتدا توابع مرزی و شرایط مربوط به هر قسمت را با استفاده از تب *Bounary Conditions* → *KeyIn* تعریف کرده و سپس آن را با استفاده از تب *Draw* → *Bounary Conditions* به سطح مربوطه تخصیص می‌دهیم.

در مجموع دو نوع شرایط مرزی وجود دارد، یکی هد آب ثابت مانند آنچه در مخزن بالادست و یا در قسمت پایین دست سد رخ می‌دهد، برای این قسمت در بخش *type*، گزینه *Head* انتخاب و سپس مقدار آب موجود در هر نیمسال را که در جدول (۴-۵) نشان داده شده است، وارد گردید.

نوع دیگر شرایط مرزی، وجه تراوش است، یعنی سطحی که خط اول جریان به آن برخورد می‌کند و شرایط آن نامعلوم است و مقدار *Q* در آن صفر در نظر گرفته می‌شود که آن نیز در تمامی وجه پایین دست تخصیص داده شد.

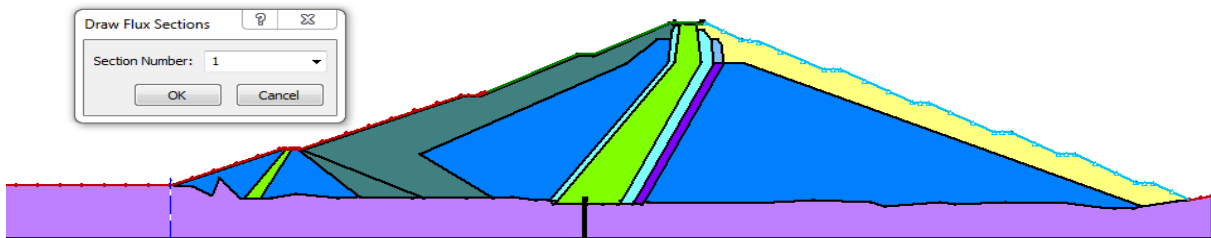


شکل ۴-۱۴. اعمال شرایط مرزی

۴-۴-۱-۷- تعیین مقطع اندازه گیری دبی

در این قسمت لازم است دبی عبوری از مقطع مورد نظر محاسبه شود. در واقع برنامه با محاسبه ی سرعت آب عبوری از مقطع مشخص شده از یک طرف و تعیین مساحت مقطع ترسیم شده از طرف دیگر، دبی عبوری را از مقطع مورد نظر محاسبه می‌کند. بدین منظور از منوی *Draw* گزینه *Flux section* انتخاب می‌شود.

در تحقیق حاضر فقط نشت از پی سد مدنظر است، به همین منظور مقطع مورد نظر قبل از بدنه سد و روی رسوبات انتخاب گردید تا میزان نشت عبوری از بدنه سد در محاسبات وارد نگردد.



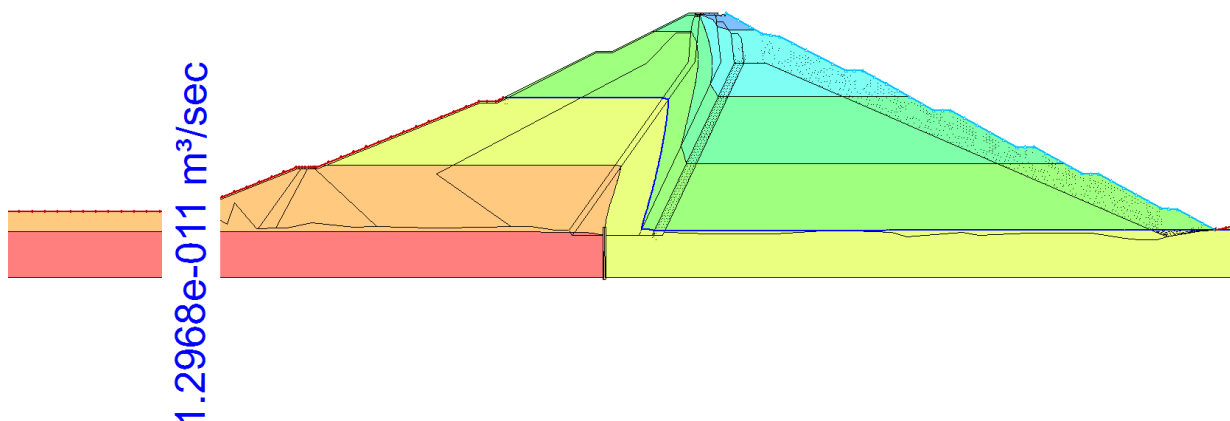
شکل ۴-۱۵. تعیین مقطع اندازه گیری دبی

۴-۱-۴-۸- تحلیل مدل

پس از ترسیم و ساخت مدل‌ها و همچنین ورود اطلاعات فنی هر کدام از اجزای مدل، نوبت به انتخاب روش تحلیل و انجام تحلیل نهایی است.

برای این منظور ابتدا کنترل اطلاعات ورودی و تحلیل هر نرم افزار انجام شود. ابتدا با استفاده از تب *Tools* → *Verify* مدل و اطلاعات ورودی کنترل میشود. پس از این مرحله و در صورت عدم اعلام خطا از طرف نرم افزار، با استفاده از تب *Tools* → *Solve Analyses* تحلیل نهایی انجام می‌شود.

تحلیل مدل برای ۵ سال (۱۰ نیمسال) انجام شد که تحلیل نتایج و بحث در مورد آن‌ها در فصل بعد به طور مفصل آورده می‌شود.

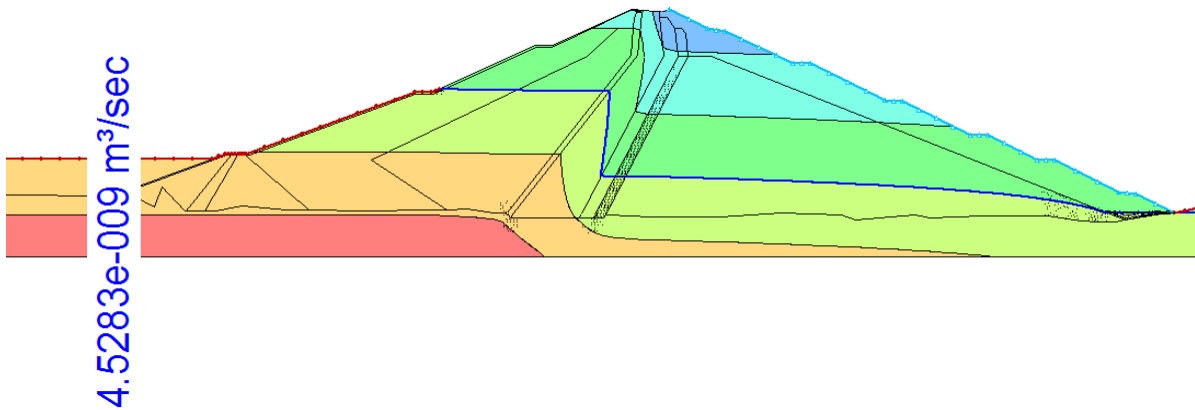


شکل ۴-۱۶. تحلیل در مقطع ۱ نیمسال ۱

۴-۲-۴-۴ مدل سازی سد بدون آب بند و حضور رسوب

مدل سازی در این حالت طبق مراحل ذکر شده در قسمت قبل انجام شد. در این حالت در بخش هندسه مدل با توجه به مقادیر جدول (۴-۵) برای رسوبات در هر نیمسال نقاط مربوط به مختصات آنها داده شده و در بخش معرفی مصالح برای پی، ضریب نفوذپذیری $10^{-5} * 2/5$ m/s در نظر گرفته شد.

با توجه به وجود پی و رسوبات در تراز پایین تر از سطح آب، حالت saturated only انتخاب گردید. در این مدل سازی مانند حالت قبل، تحلیل برای ۱۰ نیمسال مختلف و در سه مقطع انجام شد که در شکل‌های (۴-۱۷) نتیجه دبی عبوری برای نیمسال ۱ سال اول نمایش داده شده است.

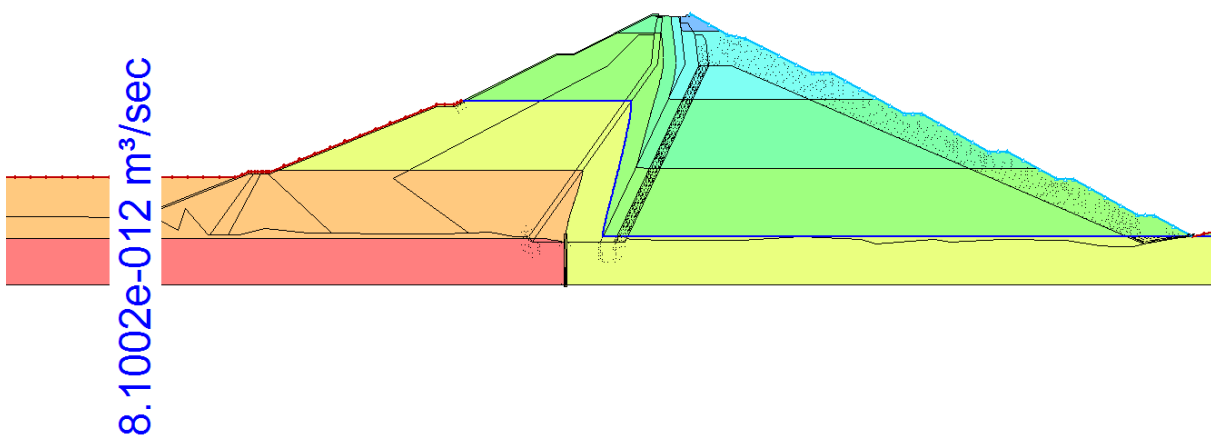


شکل ۴-۱۷. تحلیل در مقطع ۱

۴-۴-۳ مدل سازی سد با آب بند و حضور رسوب

مدل سازی در این حالت نیز مانند قسمت‌های قبل انجام شد و رسوبات نیز مانند قسمت ۴-۴-۲ به مدل داده شد.

در این مدل سازی مانند حالت قبل تحلیل برای ۱۰ نیمسال مختلف انجام شد که در شکل زیر نتیجه دبی عبوری برای نیمسال ۱ سال اول در مقطع ۱ نمایش داده شده است.

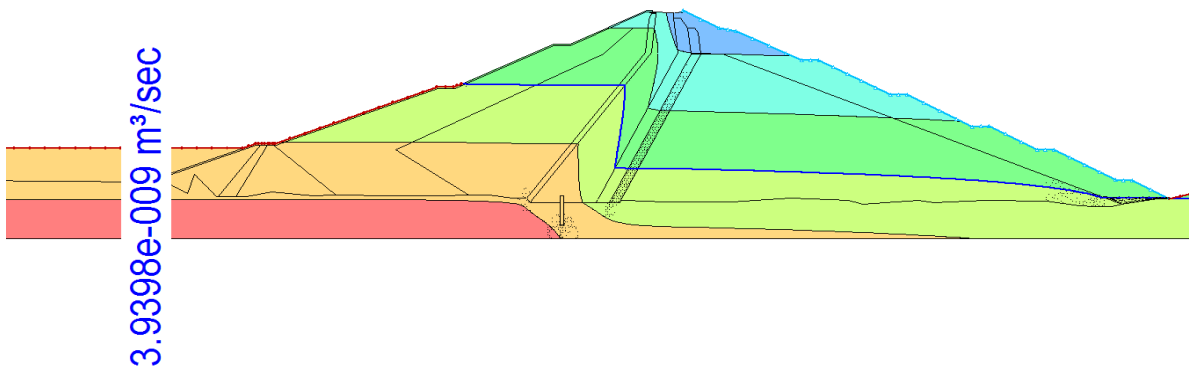


شکل ۴-۱۸. تحلیل در مقطع ۱

۴-۴-۴- مدل سازی سد با حضور آب بند کوتاه و حضور رسوب

مدل سازی در این حالت مانند قسمت ۴-۴-۳ می باشد اما با این تفاوت که ارتفاع آب بند ۵ متر کوتاه شده است.

در این حالت هم مانند حالت های قبل تحلیل برای ۱۰ نیمسال مختلف انجام شد که در شکل زیر نتیجه دبی عبوری برای نیمسال ۱ سال اول در مقطع ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱۹. تحلیل در مقطع ۱

فصل پنجم:
نتیج و بحث

۵-۱- مقدمه

در این فصل، نتایج حاصل از مدل عددی seep/w جهت محاسبه نشست آب از پی سد خاکی بیدواز اسفرااین برای ۴ حالت با آب بند و بدون حضور رسوب، بدون آب بند و با حضور رسوب، با آب بند و با حضور رسوب و حالت با آب بند کوتاه و حضور رسوب، ارائه و بررسی اقتصادی طرح پرداخته می‌شود.

۵-۲- مدل سازی با آب بند و بدون رسوب

در این حالت مدل سازی برای سه مقطع ۱، ۲ و ۳ و برای ۱۰ نیمسال انجام شد که نتایج آن در جدول (۵-۱) آورده شده است.

جدول ۵-۱. نتایج تحلیل مدل در ۵ سال با آب بند و بدون رسوب

			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
۱ سال	نیمسال ۱	نشست از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{m})$	$1/30 * 10^{-11}$	$3/46 * 10^{-10}$	$7/49 * 10^{-12}$
		طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشست کل از پی m^3/s	$6/51 * 10^{-11}$	$8/63 * 10^{-9}$	$1/11 * 10^{-10}$
		نشست از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{m})$	$6/42 * 10^{-12}$	$2/53 * 10^{-10}$	$3/29 * 10^{-12}$
	نیمسال ۲	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشست کل از پی m^3/s	$3/22 * 10^{-11}$	$6/30 * 10^{-9}$	$4/89 * 10^{-11}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
		نشست از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{m})$	$6/38 * 10^{-12}$	$2/52 * 10^{-10}$	$3/18 * 10^{-12}$
۲ سال	نیمسال ۱	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵

		نشست کل از پی m^3/s	$3/20 * 10^{-11}$	$6/29 * 10^{-9}$	$4/73 * 10^{-11}$
		نشست از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{s})$	$6/08 * 10^{-12}$	$2/51 * 10^{-10}$	$3/01 * 10^{-12}$
	نیمسال ۲	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشست کل از پی m^3/s	$3/05 * 10^{-11}$	$6/26 * 10^{-9}$	$4/47 * 10^{-11}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
		نشست از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{s})$	$6/47 * 10^{-12}$	$2/90 * 10^{-10}$	$2/91 * 10^{-12}$
	نیمسال ۱	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
۳ سال		نشست کل از پی m^3/s	$3/25 * 10^{-11}$	$7/23 * 10^{-9}$	$4/33 * 10^{-11}$
		نشست از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{s})$	$6/17 * 10^{-12}$	$2/90 * 10^{-10}$	$2/95 * 10^{-12}$
	نیمسال ۲	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشست کل از پی m^3/s	$3/10 * 10^{-11}$	$7/23 * 10^{-9}$	$4/38 * 10^{-11}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
		نشست از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{s})$	$6/17 * 10^{-12}$	$2/90 * 10^{-10}$	$2/95 * 10^{-12}$
	نیمسال ۱	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
۴ سال		نشست کل از پی m^3/s	$3/10 * 10^{-11}$	$7/23 * 10^{-9}$	$4/38 * 10^{-11}$
		نشست از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{s})$	$6/17 * 10^{-12}$	$2/90 * 10^{-10}$	$2/95 * 10^{-12}$
	نیمسال ۲	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشست کل از پی m^3/s	$3/10 * 10^{-11}$	$7/23 * 10^{-9}$	$4/38 * 10^{-11}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
		نشست از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{s})$	$6/17 * 10^{-12}$	$2/90 * 10^{-10}$	$2/95 * 10^{-12}$

سال ۵	نیمسال ۱	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$۳/۱۰ * ۱۰^{-۱۱}$	$۷/۲۳ * ۱۰^{-۹}$	$۴/۳۸ * ۱۰^{-۱۱}$
		نشت از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{m \cdot s})$	$۶/۱۷ * ۱۰^{-۱۲}$	$۲/۹۰ * ۱۰^{-۱۰}$	$۲/۹۵ * ۱۰^{-۱۲}$
	نیمسال ۲	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$۳/۱۰ * ۱۰^{-۱۱}$	$۷/۲۳ * ۱۰^{-۹}$	$۴/۳۸ * ۱۰^{-۱۱}$

۵-۳- مدل سازی بدون آب بند و با حضور رسوب

در این حالت رسوب وجود داشته ولی دیوار آب بند حذف شده است که در نرم افزار برای سه مقطع و در ۱۰ نیمسال انجام شد. نتایج مربوط در جدول (۵-۲) ارائه شده است.

جدول ۵-۲. نتایج تحلیل مدل در ۵ سال اول بدون آب بند و با حضور رسوب

			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
سال ۱	نیمسال ۱	نشت از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{m \cdot s})$	$۴/۵۳ * ۱۰^{-۹}$	$۹/۲۵ * ۱۰^{-۸}$	$۲/۸۶ * ۱۰^{-۹}$
		طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$۲/۲۷ * ۱۰^{-۸}$	$۲/۳۱ * ۱۰^{-۶}$	$۴/۲۴ * ۱۰^{-۸}$
		نشت از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{m \cdot s})$	$۴/۱۲ * ۱۰^{-۹}$	$۱/۱۶ * ۱۰^{-۷}$	$۲/۵۴ * ۱۰^{-۹}$
	نیمسال ۲	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$۲/۰۷ * ۱۰^{-۸}$	$۲/۹۰ * ۱۰^{-۶}$	$۳/۷۷ * ۱۰^{-۸}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
		نشت از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{m \cdot s})$	$۶/۹۰ * ۱۰^{-۹}$	$۱/۵۳ * ۱۰^{-۷}$	$۴/۶۰ * ۱۰^{-۹}$

سال ۲	نیمسال ۱	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$۳/۴۶ * ۱۰^{-۸}$	$۳/۸۲ * ۱۰^{-۶}$	$۶/۸۳ * ۱۰^{-۸}$
		نشت از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{m \cdot s})$	$۱/۴۸ * ۱۰^{-۹}$	$۱/۸۸ * ۱۰^{-۷}$	$۷/۵۱ * ۱۰^{-۹}$
	نیمسال ۲	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$۷/۴۱ * ۱۰^{-۹}$	$۴/۶۸ * ۱۰^{-۶}$	$۱/۱۲ * ۱۰^{-۷}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
		نشت از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{m \cdot s})$	$۱/۵۷ * ۱۰^{-۹}$	$۲/۸۵ * ۱۰^{-۷}$	$۱/۱۵ * ۱۰^{-۹}$
سال ۳	نیمسال ۱	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$۷/۸۶ * ۱۰^{-۹}$	$۷/۱۲ * ۱۰^{-۶}$	$۱/۷۱ * ۱۰^{-۸}$
		نشت از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{m \cdot s})$	$۴/۳۸ * ۱۰^{-۱۰}$	$۶/۲۷ * ۱۰^{-۷}$	$۲/۳۳ * ۱۰^{-۹}$
	نیمسال ۲	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$۲/۲۰ * ۱۰^{-۹}$	$۱/۵۶ * ۱۰^{-۵}$	$۳/۴۵ * ۱۰^{-۸}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
		نشت از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{m \cdot s})$	$۵/۹۷ * ۱۰^{-۱۰}$	$۴/۲۲ * ۱۰^{-۷}$	$۹/۷۵ * ۱۰^{-۹}$
سال ۴	نیمسال ۱	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$۳ * ۱۰^{-۹}$	$۱/۰۵ * ۱۰^{-۵}$	$۱/۴۵ * ۱۰^{-۷}$
		نشت از پی در واحد طول $(\frac{m^3}{m \cdot s})$	$۴/۳۸ * ۱۰^{-۹}$	$۱/۵۱ * ۱۰^{-۷}$	$۲/۲۳ * ۱۰^{-۸}$
	نیمسال ۲	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$۲/۲۰ * ۱۰^{-۸}$	$۳/۷۷ * ۱۰^{-۶}$	$۳/۳۲ * ۱۰^{-۷}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳

		$\frac{m^3}{m}$ نشت از پی در واحد طول $(\frac{s}{m})$	$4/95 * 10^{-8}$	$1/32 * 10^{-7}$	$1/47 * 10^{-8}$
۵ سال	نیمسال ۱	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$2/49 * 10^{-7}$	$3/28 * 10^{-6}$	$2/18 * 10^{-7}$
		$\frac{m^3}{m}$ نشت از پی در واحد طول $(\frac{s}{m})$	$1/58 * 10^{-8}$	$1/71 * 10^{-7}$	$4/98 * 10^{-8}$
	نیمسال ۲	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$7/94 * 10^{-8}$	$4/26 * 10^{-6}$	$7/40 * 10^{-7}$

۵-۴- مدل سازی با آب بند و حضور رسوب

در جدول زیر نتایج تحلیل مدل در سه مقطع برای حالتی که هم آب بند و هم رسوب وجود داشته باشد، آورده شده است.

جدول ۵-۳. نتایج تحلیل مدل در ۵ سال اولیه با آب بند و حضور رسوب

			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
۱ سال	نیمسال ۱	$\frac{m^3}{m}$ نشت از پی در واحد طول $(\frac{s}{m})$	$8/10 * 10^{-12}$	$1/68 * 10^{-10}$	$4/50 * 10^{-12}$
		طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$4/07 * 10^{-11}$	$4/19 * 10^{-9}$	$6/69 * 10^{-11}$
		$\frac{m^3}{m}$ نشت از پی در واحد طول $(\frac{s}{m})$	$6/80 * 10^{-12}$	$1/66 * 10^{-10}$	$4/00 * 10^{-12}$
	نیمسال ۲	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$3/41 * 10^{-11}$	$4/15 * 10^{-9}$	$5/94 * 10^{-11}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳

		$\frac{m^3}{(\frac{s}{m})}$ نشت از پی در واحد طول	$1/10 * 10^{-11}$	$1/61 * 10^{-10}$	$7/06 * 10^{-12}$
۲ سال	نیمسال ۱	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$5/51 * 10^{-11}$	$4/02 * 10^{-9}$	$1/05 * 10^{-10}$
		$\frac{m^3}{(\frac{s}{m})}$ نشت از پی در واحد طول	$1/79 * 10^{-11}$	$2/7 * 10^{-10}$	$1/14 * 10^{-11}$
	نیمسال ۲	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$8/97 * 10^{-11}$	$6/73 * 10^{-9}$	$1/69 * 10^{-10}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
		$\frac{m^3}{(\frac{s}{m})}$ نشت از پی در واحد طول	$4/01 * 10^{-11}$	$3/99 * 10^{-10}$	$2/70 * 10^{-11}$
۳ سال	نیمسال ۱	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$2/01 * 10^{-10}$	$9/96 * 10^{-9}$	$4/01 * 10^{-10}$
		$\frac{m^3}{(\frac{s}{m})}$ نشت از پی در واحد طول	$8/02 * 10^{-11}$	$5/97 * 10^{-10}$	$5/79 * 10^{-11}$
	نیمسال ۲	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$4/03 * 10^{-10}$	$1/49 * 10^{-8}$	$8/60 * 10^{-10}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
		$\frac{m^3}{(\frac{s}{m})}$ نشت از پی در واحد طول	$1/52 * 10^{-10}$	$8/86 * 10^{-10}$	$1/10 * 10^{-10}$
۴ سال	نیمسال ۱	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$7/63 * 10^{-10}$	$2/21 * 10^{-8}$	$1/64 * 10^{-9}$
		$\frac{m^3}{(\frac{s}{m})}$ نشت از پی در واحد طول	$3/54 * 10^{-10}$	$1/67 * 10^{-9}$	$2/65 * 10^{-10}$
	نیمسال ۲	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$1/78 * 10^{-9}$	$4/15 * 10^{-8}$	$3/93 * 10^{-9}$

			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
		نشت از پی در واحد طول ($\frac{m^3}{m}$)	$4/14 * 10^{-10}$	$1/86 * 10^{-9}$	$3/03 * 10^{-10}$
۵ سال	نیمسال ۱	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$2/08 * 10^{-9}$	$4/63 * 10^{-8}$	$4/50 * 10^{-9}$
		نشت از پی در واحد طول ($\frac{m^3}{m}$)	$4/69 * 10^{-10}$	$2/16 * 10^{-9}$	$3/66 * 10^{-10}$
	نیمسال ۲	طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل از پی m^3/s	$2/35 * 10^{-9}$	$5/38 * 10^{-8}$	$5/43 * 10^{-9}$

۵-۵-مدل سازی با آب بند کوتاه و با حضور رسوب

در این حالت ۵ متر از ارتفاع دیوار آب بند کاسته شده است و نتایج آن برای حالتی که آب بند کوتاه با رسوب وجود دارد در سه مقطع به شرح زیر است.

جدول ۵-۴. نتایج تحلیل مدل در ۵ سال اولیه حالت آب بند کوتاه و رسوب

			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
۱ سال	۱	نشت از پی در واحد طول ($\frac{m^3}{m}$)	$3/94 * 10^{-9}$	$8/85 * 10^{-8}$	$2/25 * 10^{-9}$
		طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل m^3/s	$1/98 * 10^{-8}$	$2/21 * 10^{-6}$	$3/35 * 10^{-8}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
	۲	نشت در طول ($\frac{m^3}{m}$)	$3/41 * 10^{-9}$	$1/10 * 10^{-7}$	$2/13 * 10^{-9}$
		طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل m^3/s	$1/71 * 10^{-8}$	$2/74 * 10^{-6}$	$3/16 * 10^{-8}$

			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
۲ سال	نیمسال ۱	نشت در طول $(\frac{m^3}{s})$	$۶/۰۲ * ۱۰^{-۹}$	$۱/۴۶ * ۱۰^{-۷}$	$۳/۸۱ * ۱۰^{-۹}$
		طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل m^3/s	$۳/۰۲ * ۱۰^{-۸}$	$۳/۶۵ * ۱۰^{-۶}$	$۵/۶۶ * ۱۰^{-۸}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
	نیمسال ۲	نشت در طول $(\frac{m^3}{s})$	$۹/۴۲ * ۱۰^{-۹}$	$۱/۷۹ * ۱۰^{-۷}$	$۶/۲۶ * ۱۰^{-۹}$
		طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل m^3/s	$۴/۷۳ * ۱۰^{-۸}$	$۴/۴۶ * ۱۰^{-۶}$	$۹/۳۰ * ۱۰^{-۸}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
۳ سال	نیمسال ۱	نشت در طول $(\frac{m^3}{s})$	$۲/۱۷ * ۱۰^{-۸}$	$۲/۶۷ * ۱۰^{-۷}$	$۵/۰۵ * ۱۰^{-۹}$
		طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل m^3/s	$۱/۰۹ * ۱۰^{-۷}$	$۶/۶۶ * ۱۰^{-۶}$	$۷/۵۰ * ۱۰^{-۸}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
	نیمسال ۲	نشت در طول $(\frac{m^3}{s})$	$۱/۰۲ * ۱۰^{-۸}$	$۳/۹۹ * ۱۰^{-۷}$	$۵/۶۱ * ۱۰^{-۹}$
		طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل m^3/s	$۵/۱۲ * ۱۰^{-۸}$	$۹/۹۵ * ۱۰^{-۶}$	$۸/۳۳ * ۱۰^{-۸}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
۴ سال	نیمسال ۱	نشت در طول $(\frac{m^3}{s})$	$۱/۱۶ * ۱۰^{-۸}$	$۵/۹۱ * ۱۰^{-۷}$	$۲/۹۵ * ۱۰^{-۹}$
		طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل m^3/s	$۵/۸۲ * ۱۰^{-۸}$	$۱/۴۷ * ۱۰^{-۵}$	$۴/۳۸ * ۱۰^{-۸}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
	نیمسال ۲	نشت در طول $(\frac{m^3}{s})$	$۸/۵۳ * ۱۰^{-۹}$	$۱/۱۰ * ۱۰^{-۶}$	$۳/۲۳ * ۱۰^{-۹}$
		طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵

		نشت کل m^3/s	$4/28 * 10^{-8}$	$2/75 * 10^{-5}$	$4/79 * 10^{-8}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
۵ سال	نیمسال ۱	نشت در طول $(\frac{m^3}{m})$	$5/45 * 10^{-9}$	$1/25 * 10^{-6}$	$7/47 * 10^{-9}$
		طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل m^3/s	$2/74 * 10^{-8}$	$3/11 * 10^{-5}$	$1/11 * 10^{-7}$
			مقطع ۱	مقطع ۲	مقطع ۳
	نیمسال ۲	نشت در طول $(\frac{m^3}{m})$	$6/46 * 10^{-8}$	$1/43 * 10^{-6}$	$3/92 * 10^{-8}$
		طول مقطع (m)	۵/۰۲	۲۴/۹۴	۱۴/۸۵
		نشت کل m^3/s	$3/24 * 10^{-7}$	$3/55 * 10^{-5}$	$5/83 * 10^{-7}$

با توجه به این که در نیمسال ۲ سال سوم، تراز آب از تراز نرمال بیشتر می‌شود، نشت از فونداسیون اهمیتی ندارد چون اگر از پی نشت نکند از روی سرریز خارج می‌شود. بنابراین از نیمسال ۲ سال سوم به بعد از محاسبات حذف می‌شود.

۵-۶- جمع بندی نتایج

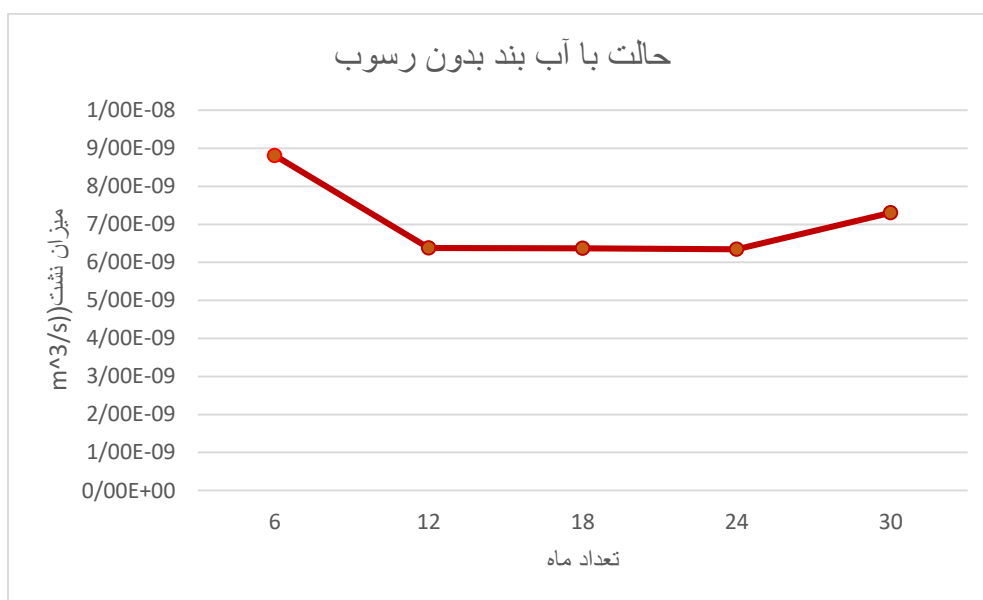
جدول ۵-۵. جمع بندی نتایج

سال	نیمسال	نشت با آب بند بدون رسوب $\frac{m^3}{s}$	نشت بدون آب بند و با رسوب $\frac{m^3}{s}$	نشت با آب بند و با رسوب $\frac{m^3}{s}$	نشت با آب بند کوتاه و با رسوب $\frac{m^3}{s}$
۱	۱	$8/81 * 10^{-9}$	$2/37 * 10^{-6}$	$4/29 * 10^{-9}$	$2/26 * 10^{-6}$
	۲	$6/38 * 10^{-9}$	$2/96 * 10^{-6}$	$4/24 * 10^{-9}$	$2/79 * 10^{-6}$
۲	۱	$6/37 * 10^{-9}$	$3/92 * 10^{-6}$	$4/18 * 10^{-9}$	$3/73 * 10^{-6}$

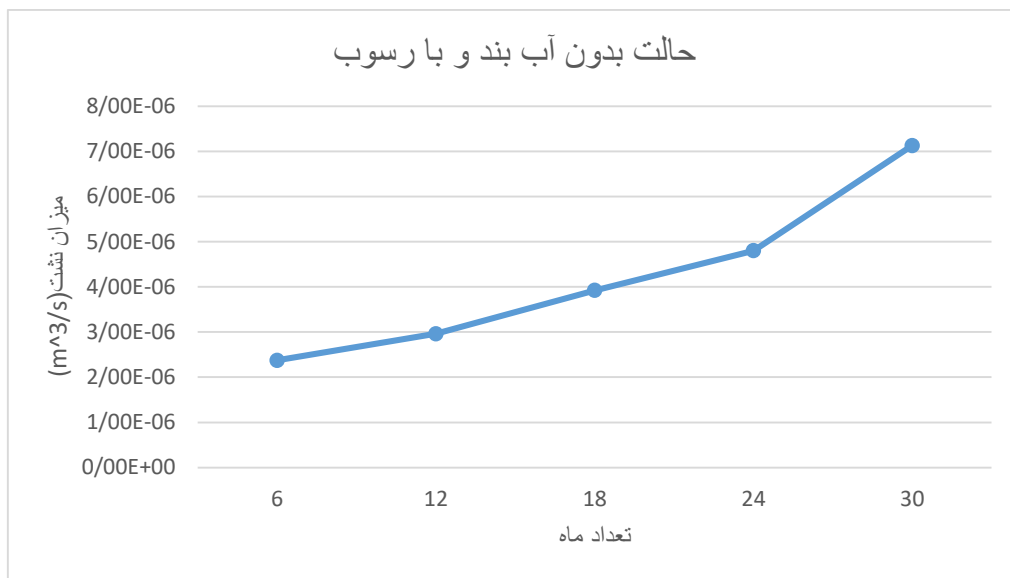
	۲	$6/34 * 10^{-9}$	$4/80 * 10^{-6}$	$6/99 * 10^{-9}$	$4/60 * 10^{-6}$
۳	۱	$7/30 * 10^{-9}$	$7/14 * 10^{-6}$	$1/06 * 10^{-8}$	$6/84 * 10^{-6}$
	جمع ($\frac{m^3}{s}$)	$3/52 * 10^{-8}$	$2/12 * 10^{-5}$	$3/03 * 10^{-8}$	$2/02 * 10^{-5}$
	جمع (m^3)	$5/55 * 10^{-1}$	$3/34 * 10^2$	$4/78 * 10^{-1}$	$3/19 * 10^2$

قرار گرفتن رسوبات جدید بر روی رسوبات قبلی باعث تراکم بیشتر رسوبات قبلی و کاهش نفوذپذیری می‌گردد اما به دلیل غیر قابل ملاحظه بودن این اثر در میزان نشت، از آن صرف نظر می‌شود که در جهت بیشتر گرفتن نشت می‌باشد.

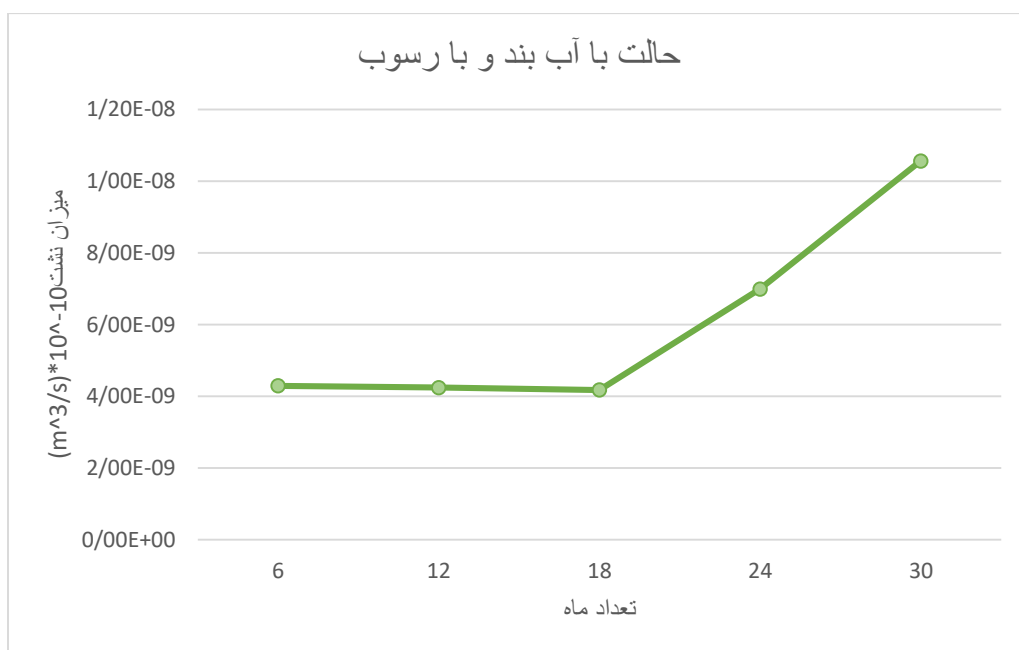
در ادامه نتایج به صورت نمودار، در شکل‌های (۵-۱) تا (۵-۴) نمایش داده شده است.



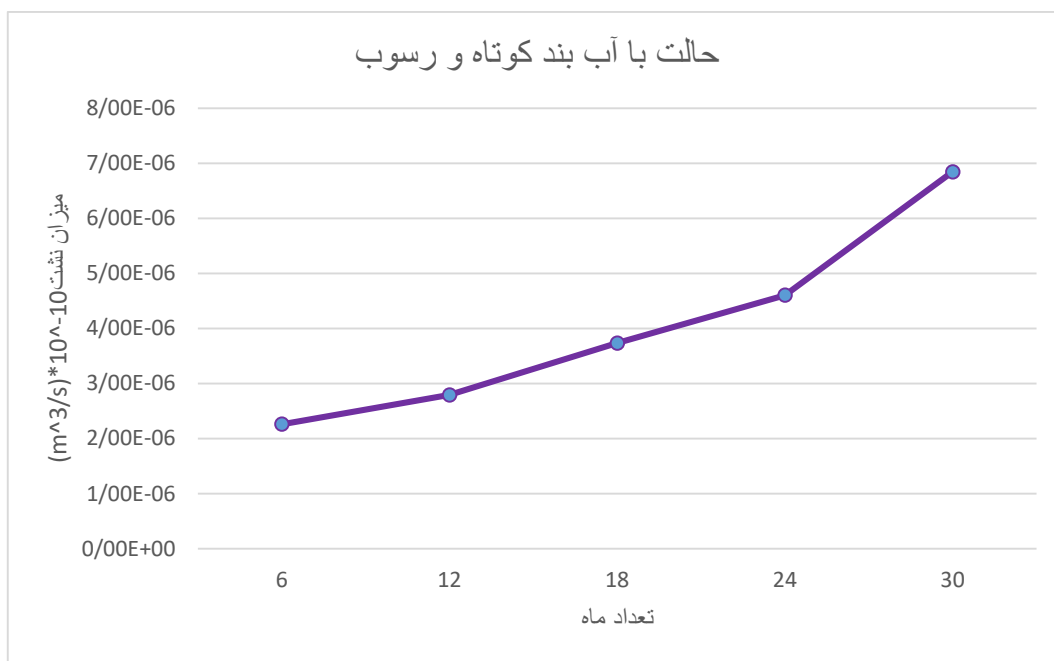
شکل ۵-۱. نمودار تغییرات نشت از پی حالت با آب بند بدون رسوب



شکل ۵-۲. نمودار تغییرات نشست از پی حالت بدون آب بند و با رسوب



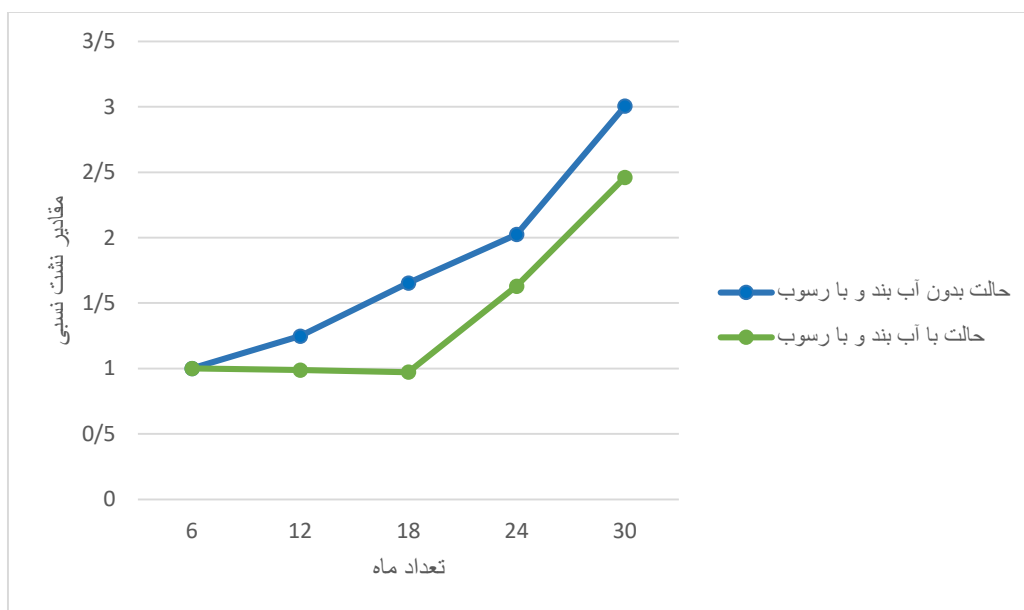
شکل ۵-۳. نمودار تغییرات نشست از پی حالت با آب بند و با رسوب



شکل ۵-۴. نمودار نشست از پی حالت با آب بند کوتاه و با رسوب

هم چنین نمودار مقادیر نشست نسبی برای ۲ حالت که از تقسیم نشست بر نشست اولیه به دست می‌آید، در

شکل (۵-۵) نشان داده شده است.



شکل ۵-۵. نمودار تغییرات نشست نسبی

با توجه به نتایج تحلیل‌ها، مقدار درصد کاهش یافته نشست در حالت با آب بند و با رسوب نسبت به حالت

با آب بند و بدون رسوب عبارت است از:

$$(3/52 * 10^{-8} - 3/0.3 * 10^{-8}) \div (3/52 * 10^{-8}) = 14\%$$

از آن جا که در واقعیت امکان عدم حضور رسوب وجود ندارد، صرفاً برای مقایسه میزان تاثیر رسوب در کاهش نشت، مقدار درصد کاهش یافته نشت را به دست آوردیم.

۵-۷- مطالعات اقتصادی

۵-۷-۱- هزینه ساخت دیوار آب بند

جدول (۵-۶)، برگه ریز مالی آب بند که در سال ۹۵ توسط مشاور تایید گشته، نشان داده شده است.

جدول ۵-۶. هزینه ساخت دیوار آب بند [۳۴]

عنوان	واحد	بهای واحد (ریال)	مقدار	بهای کل (ریال)
حفاری محل دیوار آب بند به عرض یک متر و برای عمق تا ۴۰ متر	مترمکعب	۱۸۴۸۱۳۳۰	۷۷۸,۱۲	۱۴۳۸۰۶۹۲۵۰۰
حفاری محل دیوار آب بند به عرض یک متر و در عمق بیش از ۴۰ متر تا ۶۰ متر	مترمکعب	۱۹۶۷۰۱۹۵	۱۵۷,۰۸	۳۰۸۹۷۹۴۲۳۱
تهیه و اجرای کامل بتن پلاستیک دیوار آببند با هر عمق، به انضمام تهیه تمامی مصالح	مترمکعب	۱۷۱۶۹۰۹	۹۳۶,۰۰	۱۶۰۷۰۲۶۸۲۴
تهیه و اجرای کامل بتن پلاستیک دیوار آببند با هر عمق بطور کامل، برای حجم مازاد	مترمکعب	۱۷۱۶۹۰۹	۲۹۹,۰۰	۵۱۳۳۵۵۷۹۱
جمع هزینه ها				۱۹,۵۹۰,۸۶۹,۳۴۵

با فرض ضریب تعدیل حداقل ۱۲ درصد در سال و به منظور به روز کردن هزینه ها، هزینه ساخت دیوار آب بند در سال ۱۳۹۹ برابر است با :

$$۱۹,۵۹۰,۸۶۹,۳۴۵ * (۱/۱۲)^۴ = ۳/۰۸۳ \quad \text{میلیارد تومان}$$

با در نظر گرفتن نرخ تورم ۱۵ درصد، مبلغ سود سالانه هزینه ساخت دیوار آب بند عبارت است از:

$$۳/۰۸۳ * ۰/۱۵ = ۰/۴۶۲ \quad \text{میلیارد تومان}$$

۵-۷-۲- قیمت آب

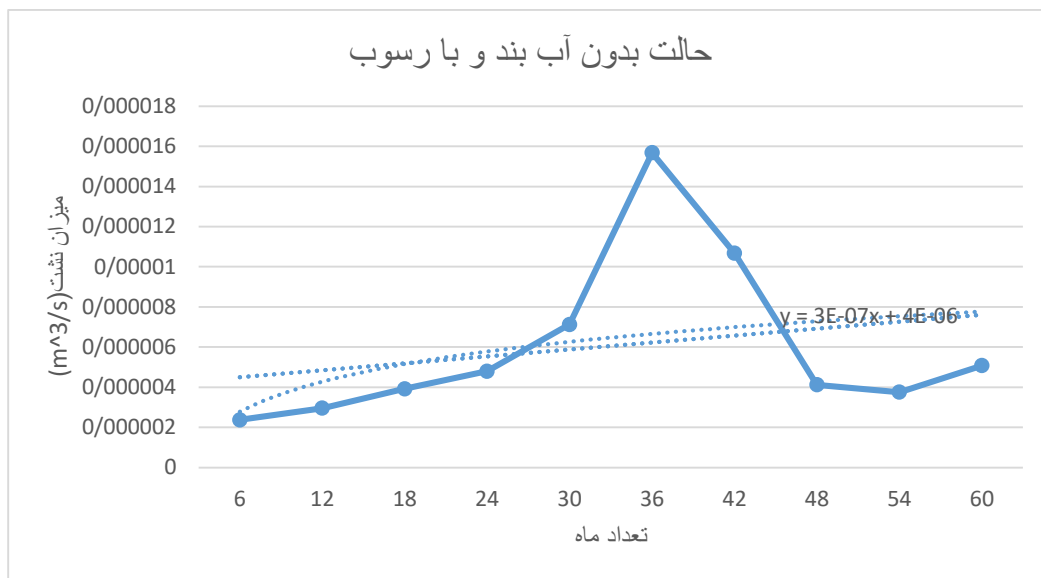
طبق گفته معاون برنامه ریزی و امور اقتصادی وزیر نیرو، میانگین قیمت تمام شده هر مترمکعب آب ۱۲۰۰ تومان است که این رقم پارسال ۹۶۰ تومان بود [۳۵].

۵-۸- نتیجه گیری

با توجه به مطالب و محاسبات انجام شده مشخص می گردد که اگر از ساخت دیوار آب بند جهت جلوگیری از نشت آب از پی سد خاکی بیدواز صرف نظر شود، با در نظر گرفتن میزان رسوبات توزیع شده در کف مخزن در نیمسال های مختلف، کل آبی که از فونداسیون درسال های اولیه بهره برداری نشت خواهد کرد و به پایین دست سد منتقل خواهد شد برابر است با:

$$۲/۱۲ * ۱۰^{-۵} * ۸۶۴۰۰ * (۳۶۵ \div ۲) = ۳/۳۴ * ۱۰^۲ \quad m^3$$

برای مقایسه مقدار هزینه آب هدر رفته در حالتی که فقط رسوب وجود دارد با هزینه ساخت آب بند، می بایست هزینه آب نشت یافته از پی در طول عمر سد را محاسبه کرد که این کار را با رگرسیون خطی نمودار حالت با رسوب و بدون آب بند در طول ۵۰ سال محاسبه کردیم.



شکل ۵-۶. رگرسیون خطی نشست با رسوب

با توجه به نمودار، در طول ۵۰ سال مجموع مقادیر نشست $\frac{m^3}{s} \times 10^{-3} * 9/46$ می باشد.

$$9/46 \times 10^{-3} \times 86400 \times (365 \div 2) = 149231/24 \quad m^3$$

لازم به ذکر است در حالتی که آب بند وجود ندارد، آبی که از پی سد نشست می کند به معنی هدررفت آب نیست زیرا آب نشست شده در کف رودخانه جاری می شود و یا به سفره آب زیرزمینی رسیده و آن را تغذیه می کند که کشاورزان و حقایه بران می توانند در پایین دست به وسیله پمپاژ و یا هر شکل دیگری از آن استفاده نمایند و حتی قسمتی از حقایه ها را از طریق تغذیه آبخوان پایین دست سد و یا جریان آب در کف رودخانه تامین نمود. بنابراین نشست این مقدار آب، عملاً در پایین دست استفاده یا ذخیره می شود.

با فرض این که آب نشست پیدا کرده از پی سد، هدر رفته باشد، کل قیمت آب به نرخ سال ۹۹ عبارت است

از:

$$149231/24 \times 1200 = 179077490 \quad \text{تومان}$$

از آن جا که هزینه ساخت دیوار آب بند حدود ۳/۰۸۳ میلیارد تومان در سال ۹۹ می باشد در نتیجه با

حذف دیوار آب بند و استفاده از نفوذپذیری کم رسوبات می توان در هزینه ها صرفه جویی کرد.

فصل ششم:

تیجہ گیری و پیشہادات

۶-۱- مقدمه

هدف از انجام این پایان نامه، محاسبه میزان نشت آب از فونداسیون سد خاکی بیدواز در ۴ حالت و مقایسه آن‌ها با یکدیگر می‌باشد که توسط نرم افزار seep/w انجام می‌شود و در این مقایسه ضمن در نظر گرفتن هزینه دیوار آب بند، مساله آب هدر رفته از پی در سال‌های اولیه و امکان استفاده از آن در آبخوان‌های پایین دست، بررسی شد.

در فصول اول به تعریف مفاهیم اولیه نشت و کاهش آن و رسوب گذاری در مخازن پرداخته شد سپس تعدادی از مطالعات نشت و رسوب ارائه گردید.

مدل سازی سد برای چهار حالت با آب بند و با رسوب، با آب بند و بدون رسوب، بدون آب بند و با رسوب و با آب بند کوتاه و رسوب با توجه به مشخصات سد خاکی بیدواز در نرم افزار انجام شد.

۶-۲- جمع بندی و نتیجه گیری

در این پایان نامه، تحلیل سد خاکی بیدواز در چهار حالت با آب بند و با رسوب، با آب بند و بدون رسوب، بدون آب بند و با رسوب و با آب بند کوتاه و رسوب در ۵ سال اولیه بهره برداری انجام شد و نتایج آن با یکدیگر مقایسه گردید (از آنجا که تحقیق حاضر صرفاً نظری می‌باشد و به علت وجود زهکش در بدنه، از پدیده رگاب و جوشش صرف نظر شده است).

جدول ۶-۱. جمع بندی نتایج کلی نشت

	نشت با آب بند بدون رسوب	نشت بدون آب بند و با رسوب	نشت با آب بند و با رسوب	نشت با آب بند کوتاه و با رسوب
جمع (m^3)	۰/۵۵۵	۳۳۴	۰/۴۷۸	۳۱۹

همانطور که در جدول نیز مشخص است در حالت با آب بند و با رسوب مقدار نشت کلی در طول سال‌های اولیه بهره برداری کمترین مقدار را دارد اما بهینه ترین حالت با توجه به مطالعات اقتصادی و هم چنین

با توجه به اینکه ته نشین شدن رسوبات روی یکدیگر به تدریج باعث کاهش نشت شده، حالت بدون آب بند و با رسوب می باشد.

با توجه به گزارشات، هزینه ساخت دیوار آب بند حدود ۳/۰۸۳ میلیارد تومان در سال ۱۳۹۹ به دست آمد. در حالت بدون آب بند و با رسوب، قیمت آب هدر رفته (حتی اگر این آب را هدر رفته بدانیم) در طول عمر سد معادل ۱۷۹۰۷۷۴۹۰ تومان می باشد که صرفه جویی اقتصادی زیادی دارد.

لازم به ذکر است حجم آب نشت یافته در سال های اولیه بهره برداری در حالت با آب بند کوتاه و رسوب مقدار ۳۱۹ مترمکعب می باشد که در مقایسه با حالت با رسوب و بدون آب بند که ۳۳۴ مترمکعب می باشد تفاوت چندانی نداشته و توجیه اقتصادی ندارد.

با توجه به نتایج تحلیل مدل ها در ۵ سال اولیه و در دو حالت دیوار آب بند و بدون رسوب و حالت دیوار آب بند و رسوب، حدود ۱۴ درصد نشت در صورت وجود رسوب کاهش یافته است.

با توجه به نتایج، پیشنهاد می شود به صورت موردی، نشت از پی و هم چنین ساخت دیوار آب بند با یکدیگر مقایسه گردیده و ضرورت یا عدم ضرورت ساخت دیوار آب بند بررسی گردد.

۶-۳- پیشنهادات برای توسعه تحقیق

۱- استفاده از نرم افزارهای دیگر برای مدل سازی سدهای خاکی و مقایسه خروجی های دو نرم افزار مانند

Plaxis

۲- بررسی نحوه تغییرات ضریب نفوذپذیری لایه های رسوب در طول پروژه و اثر آن بر دبی نشت

۳- بررسی تغییرات نفوذپذیری لایه های رسوب در طول مخزن به گونه ای که در قسمت های دور از سد،

درشت دانه ها و در قسمت های نزدیک، ریزدانه ها انباشته شده و نفوذپذیری در قسمت های مختلف

رسوب می تواند متفاوت باشد.

مراج

- [۱] طاحونی، ش. ۱۳۸۶ "اصول مهندسی ژئوتکنیک، جلد اول: مکانیک خاک" انتشارات پارس آیین
- [2] USBR, "Embankment Dams", Chapter 5, Seepage Analysis, US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Washington DC, US, 1987.
- [3] Fell, R., MacGregor, P. and Stapledon, D. (1992) Geotechnical Engineering of Embankment Dams, A.A. Balkema, Rotterdam
- [4] Yifeng C., Chuangbing Z., Hong Z. 2008. "A numerical solution to seepage problems with complex drainage systems". Computers and Geotechnics, 35(3), PP. 383–393.
- [۵] حائری، س.م. ۱۳۶۳ "اصول طرح سدهای خاکی" انتشارات گروه مهندسی عمران و صنایع
- [6] Strang, Gilbert ,2005, Linear Algebra and Its Applications (4th ed.), Brooks Cole, ISBN 978-0-03-010567-8
- [7] Baker, H.W. Editor (1985) "Issues in Dam Grouting", Proceedings of Geotech. Eng. Div., ASCE Convention Denver, Colorado.
- [8] Desai, C.S. and Abel, J.F. (1972) Introduction to the Finite Element Method, Van Nostrand Reinhold, New York.
- [۹] راهنمای تزریق در سازه های آبی آسازمان برنامه و بودجه، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، وزارت نیرو، ۱۳۷۸، (طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور)-تهران: سازمان برنامه و بودجه، مرکز مدارک اقتصادی-اجتماعی و انتشارات،
- [10] ICOLD Bulletin 51 (1985). "Filling Materials for Watertight Cut off Walls", Paris.
- [11] Houlsby, A.C. (1981) "Cement Grouting for Dams", Australian Geomechanics, No.3, pp.4954.
- [12] Harr, M.E., 1962, " Ground water and Seepage", McGraw-Hill, New York
- [۱۳] آشنایی با سدهای خاکی، عبدالمتمین ستایش ۱۳۹۲
- [14] Fell, R., MacGregor, P. and Stapledon, D. (1992) Geotechnical Engineering of Embankment Dams, A.A. Balkema, Rotterdam.

[۱۵] پریش، ی. و مرادی، الف. ۰۰۲۲. ارزیابی دیوار آب بند بتن پلاستیک در کنترل تراوش از پی سدهای خاکی. نخستین کنفرانس بین المللی تکنولوژی بتن، تبریز، مرکز ملی مقاوم سازی.

[۱۶] سازمان مدیریت منابع آب ایران، دفتر استاندارد مهندسی آب (۱۳۹۱)، "راهنمای مطالعات رسوب گذاری و رسوب زدایی مخازن سدها"، نشریه شماره ۵۸۹، انتشارات مدیریت و برنامه ریزی کشور.

[17] McNamee, J.; 1949 "Seepage into a Sheeted Excavation," *Geotechnique*, the Institution of Civil Engineers London, Vol. 4, No. 1, pp. 229-241.

[۱۸] صدقی اصل، محمد؛ حسن رحیمی و حسن خالقی، ۱۳۸۴، اثر موقعیت بهینه پرده آب بند قائم در کاهش نشت و سرعت جریان در زیر سازه های آبی با استفاده از مدل عددی، پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، کرمان، دانشگاه باهنر کرمان

[19] Neuman, S. P. and Witherspoon, P. A.; 1970 "Finite Element Method for Analyzing Steady Seepage with a Free Surface," *Water Resources Research*, Vol. 6, pp. 889-897.

[20] Richards, K. and Reddy, K.; 2007 "Critical Appraisal of Piping Phenomena in Earth Dams," *Bull Eng. Geol Environ.*, Vol. 66, pp. 381-402.

[21] Pakbaz M.S., 2009, "Evaluation of performance of plastic concert cutoff wall in Karkhe dam using 3-D seepage analysis and measurement", *Jornal of applied sciences*, 9, 4, pp. 724-730

[22] Naeimi, M. Gh. and Bayati, H.; 2011 "Investigation the Effect of Grout Wall and Curtain on Seepage Decrease with by Increase in Diffusion Depth in Right Side Axis of Mirzaye Shirazi Dam by Numerical Method," 6th National Congress on Civil Engineering, Semnan, Iran, (in Persian).

[23] Sedghi-Asl, M.; Rahimi, H. and Khaleghi, H.; 2012 "Laboratory Investigation of the Seepage Control Measures under Coastal Dikes," *Experimental Techniques*, Vol. 36, No. 1, pp. 61-71.

[24] Jie, Y.; Jie, G.; Mao, Z. and Li, G.; 2004. "Seepage Analysis Based on Boundary Fitted Coordinate Transformation Method," *Computer and Geotechnics*, Vol. 31, pp. 279-283,

[25] Yousefi, M., et al., 2016. "Laboratory Investigation of the Effects of Sheet Pile on Seepage Control and Sand Boiling through Alluvial Foundation of Hydraulic Structures". *Amirkabir Journal of Civil and Environmental Engineering*, 48(3), pp. 315-328.

[۲۶] امامعلی زاده قناتی، ا.، گنبدی، م، ب، اصغر کلاهی، ا.، ۱۳۹۲، مطالعه روش های آب بندی سد گردپان

جلفا" پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی (گرایش مهندسی، دانشگاه دامغان)

[۲۷] سنگی، خ، ۱۳۹۲، "برآورد میزان تراوایی و مقدار تراوش در ساختگاه سد سیمره"، مهتاب قدس، فصلنامه

شماره ۶۱، صفحه ۲۵-۲۹

[28]Ranja Raju K.G.,Kothyari U.S,et al.,1999,"sediment Removal Efficiency of settling Basin". Jornal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol 125. No 5.

[29] Kantoush S.A.,2009,"Experimental Study on the Influence of the Geometry of shallow Reservoir on Flow Pattern and Sediments ".PHD Thesis.

[۳۰] عظیمیان، ا، ر، ۱۳۹۲، "دینامیک سیالات محاسباتی"، چاپ پنجم، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان

[۳۱] پاک نیت، ا، امین جواهری، ا، ر، ۱۳۹۵، "تحلیل استاتیکی و دینامیکی سدهای خاکی با استفاده از

GeoStudio"، چاپ سوم، نشر علم عمران

[32] Krahn J.,2002,"seep/w version 5 manual",alberta, Canada

[33] An Engineering Methodology,July 2012 Edition"Seepage Modeling with SEEP/W"
GEO-SLOPE International Ltd1400, 633 – 6th Ave SW, Calgary, Alberta, Canada T2P 2Y5

[۳۴] شرکت طوس آب، ۱۳۸۵، "مجموعه گزارشهای سد بیدواز"

[۳۵] خبرگزاری نسیم، دی ۱۳۹۴، گروه اقتصادی، حوزه نیرو

Abstract

Sedimentation due to the reduction of the reservoir active capacity, instability of dam and economic losses is one of the issues that has always been investigated by researchers and engineers. In addition, seepage in earth dam is an essential and important issue regarding the high hydraulic gradient, porosity of the body of the dam foundation and also economic issues. In order to prevent water seepage from earth dam foundation, the dam is sealed which although it reduces a large amount of foundation seepage, it imposes significant costs which sometimes does not seem economical. In the sedimentation phenomenon, the sediments deposited in the reservoir gradually accumulate on each other and while increasing the density of the previous sediments, they affect the thickness of the sedimentation and decrease the permeability of the reservoir floor so that it can be expected that the permeability of the reservoir floor will be very limited practically after a few years, which means no other foundation sealant systems will have a role in reducing the water seepage from the dam. In this research, modeling was done by seep/w for the Bidvaz earth dam and analysis was performed for four cases: presence of a cutoff wall with sediment, a cutoff wall without sediment, sediment without a cutoff wall and short cutoff with sediment. Then they were compared with each other. Furthermore, considering the results obtained from the software, the costs of building a cutoff wall and the amount of water seepage from the dam foundation, assuming the loss of all water leaked from the foundation in the state of without a cutoff wall with sediment, water rate of 1200 tomans per cubic meter and the comparison of costs with each other it was determined that a lot of money is saved by removing the cutoff wall.

Keywords: Seepage, Sedimentation, cutoff wall, Bidvaz earth dam, seep/w



**Shahrood University of
Technology**

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Hydraulic Structure Engineering

**Gradual Effect of Increasing Sediment on Seepage from Earth Dam Foundation Using
Geostudio Software (Case study: Bidvaz Earth Dam)**

By: Sara Daneshmand

Supervisor:
Dr. Ahmad Ahmadi

Advisor:
Mrs Maryam Ziaee

July, 2020