ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

مجله علمی رویکردهای پژوهشی درمهندسی عمران و معماری (سال دوم)
شماره ۴ / بهار ۱۳۹۶ / ص ۳۶-۲۳

ارزیابی رفتار سد خاکی در طول ساخت به روش اجزای محدود در حالت دو و سه بعدی با نرم افزارهایplaxis 2D و Plaxis 3D Foundation(مطالعه موردی سد کبودوال)

حسین حکیمی خانسر[۱]، سیدحسن گلمایی[۲]، مجید شیداییان [۳]

[۱] کارشناس ارشدسازه های آبی دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی ساری

[۲] دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی ساری

[۳] دانشجوی دکتری سازه های ابی دانشگاه گرگان

نام و نشانی ایمیل نویسنده مسئول:

حسین حکیمی خانسر

Hakimi1904@yahoo.com

چکیده

در تحقیق حاضر براساس داده های ابزار دقیق سد خاکی کبودوال، فشار آب حفره ای، تنش های ایجاد شده و نیز نشست سد در دوران ساخت با مقادیر حاصل ازتحلیل عددی در دوحالت دو بعدی و سه بعدی با نرم افزار پلاکسیس مقایسه شده است. به این منظور دوران ساخت سد با استفاده از مدل رفتاری موهر-کلمب ، تحلیل گشته و فشار آب حفره ای، تنش های ایجاد شده دربدنه و نشست آن با داده های ابزار دقیق مقایسه شده است. با توجه به هم خوانی داده های ابزاردقیق و نتایج حاصل از تحلیل، می توان گفت مدل رفتاری انتخاب شده قادر به پیش بینی مناسب رفتار سد در این مرحله هستند.هم چنین هر دو نرم افزار هم خوانی خوبی را با داده های ابزار دقیق نشان می دهند. نرم افزار پلاکسیس سه بعدی همانند پلاکسیس دو بعدی بخوبی توانسته مدل سازی را انجام دهد و نتایج آن با ابزار دقیق تطابق خوبی دارد. به طور کلی فشار و اضافه فشارهای حفره ای آب در بدنه و پی مقاطع عرضی در حد قابل انتظار بوده و فشارهای خاک نیز در محدوده مجاز قرار دارند. ضریب Ru همواره کمتر از ۰/۴ بوده است. مقدار نسبت Ru با توجه به فرصت زمانی پس از تکمیل بدنه سد، روند کاهشی داشته اند که نشان از زهکشی اضافه فشار آب حفره ای در بدنه و پی دارد. لذا انتظار افزایش نشست ها با نرخ بیشتر برای بدنه و پی قابل تصور است. به طور کلی نتایج این روش، ضمن معرفی سلامت روش بکار رفته در اجرای بدنه سد، نگرانی ناشی از بروز ترکهای کششی عرضی به جهت تغییرشکل های اختلافی بدنه را مرتفع نموده است.

واژگان کلیدی: سد خاکی کبودوال ، رفتار نگاری، پلاکسیس دو بعدی، پلاکسیس سه بعدی.

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

مقدمه

امروزه سدهای بزرگ اعم از خاکی یا بتنی از مهمترین سازه های آبی به شمار می روند که در تأمین آب مورد نیازجوامع انسانی نقش اساسی را ایفا می کنند. بنابراین پایداری سدها به ویژه در دهه های اخیر مورد توجه خاص مهندسین طراح سدهای خاکی و بتنی بوده است. طبیعت متفاوت سازندهای طبیعی در محل احداث سدهای خاکی از یک طرف و رفتار پیچیده مصالح خاکی سد از طرف دیگر ارزیابی کمی و کیفی پارامترهای رفتاری خاک را ضروری می نماید.تحقیقات نشان می دهند که ارزیابی غلط این گونه پارامترها اغلب علت به مخاطره افتادن پایداری سدهای خاکی بوده است. نصب ابزار دقیق و رفتارنگاری آنها در دوران ساخت و دوره بهره برداری اولیه کمک شایان به ارزیابی این پارامترها می کند (کمیته راهبردی انجمن مهندسین راه و ساختمان آمریکا، ۲۰۰۰)

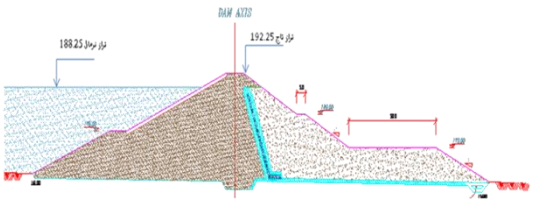
در حال حاضر، رفتارنگاری در سدهای خاکی بارفتار بسیار پیچیده بخشی از برنامه جامع کنترل پایداری است. به عبارتی هدف اصلی که تشخیص هرگونه مشکلات احتمالی که پایداری سد را تهدید کند است به خوبی بارفتارنگاری توسط ابزار دقیق برآورده می شود (میرس و استتلیر، ۲۰۰۸)

روش اجزای محدود در حال حاضر یکی از قوی ترین روشهای عددی در مسائل مهندسی خصوصا محیط های پیوسته است که در شرایط کنونی مورد استفاده دانشمندان قرار می گیرد .از نظر هندسی اصولا سدهای خاکی سازه هایی نسبتا ساده ای می باشند، اما مصالح تشکیل دهنده ی آنها دارای تنوع زیادی می باشد .رفتار خاک ها دارای پیچیدگی های زیادی می باشد که این امر باعث می گردد روش اجزای محدود به کاررفته، پیچیده تر ازروش های بکار برده شده برای مصالح خطی باشد.در انجام این تحقیق از نرم افزار پلکسیس استفاده شده است .پلکسیس نرم افزاری المان محدود پیشرفته، به منظور تحلیل رفتارهای مکانیکی، پایداری در پروژه های مهندسی ژئوتکنیک، محاسبات جریانهای آب در محیط های خاکی و سنگی بکار می رود.امکانات گستردهای ازقبیل مدل هایرفتاری مختلف خاک(موهرکولمب، سخت شوندگی، نرم شوندگی و الاستیک خطی)، مدل سازی مصالح مختلف، آنالیزدو بعدی(با استفاده از المان-های۶ و ۳۱ گرهی)انواع خاکها درلایه های مختلف و شرایط مرزی مختلف،توانایی مدل کردن فشار آب در حالت تراوش پایدار و فشارهای آب حفره ای اضافی را دارا می باشد.به طورکلی،در تحلیل و طراحی سدهای خاکی،فرض مدلسازی کل سازه دریک مرحله غیرواقعی می باشد، به همین منظور بایداز قابلیت ساخت مرحله ای بهره جست .به منظور ساخت مرحله ای سدکبودوال، ابتدا وضعیت قبل از شروع ساخت به عنوان شرایط اولیه معرفی شده وبه تدریج کل سازه ایجادگردید. با توجه به زمان واقعی اجرای خاکریزی بدنه ی سد در هشت لایه مدل گردیده، تا به ارتفاع معین تاج رسیده است. بدلیل اهمیت پیشبینی رفتارخاک از نظر میزان تغییر شکل در سازه خاکی و تغییرات اضافه فشار آب حفره ای بررسی مدل های رفتاری ضروری می باشد .چراکه مدل های رفتاری ارتباط بین تنش وکرنش را برقرارمی کنند، تحقیقات بیشتر دراین زمینه می تواند به پیش بینی های دقیق تر رفتار سازه های خاکی بیانجامد .در این تحقیق سعی بر آن بوده است که سددر دو حالت دو بعدی و سه بعدی تحلیل عددی گردد نتایجی با پارامترهای واقع بینانه تر برای سد خاکی کبود وال انتخاب گردد.

مواد و روش ها

معرفی سد

سد کبود وال همگن و دارای فیلتر و زهکش مایل است. مخزن آن خارج از حوضه ی آبریز اصلی است، طول تاج۱۳۷۲ متر و حداکثر ارتفاع از پی۳۳.۲۵متراست. ارتفاع از بستر۳۰.۵ متر و هم چنین تراز بستر سد۱۶۲ متر از سطح دریا و حداقل تراز آب در مخزن۱۷۱ متر از سطح دریا و نیز حداکثر تراز نرمال آب۱۸۸.۲۵ متر از سطح دریا است. تراز تاج سرریز۱۸۹.۶ متر از سطح دریا و تراز تاج سد۱۹۲.۲۵ متر از سطح دریا است. ضخامت در پی۱۰ متر و آب قابل تنظیم سالیانه حدود ۵۵ میلیون متر مکعب است.

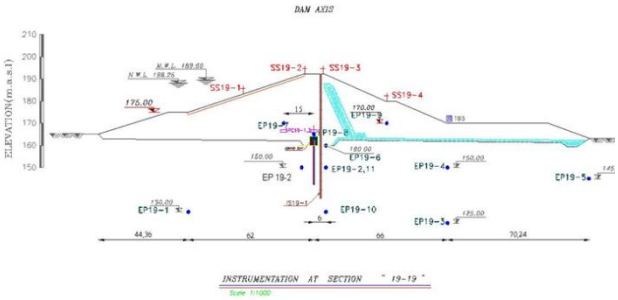


شکل ۱ – مقطع تیپ عرضی بدنه سد کبودوال

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

سیستم و مقاطع ابزار دقیق سدکبودوال

جانمائی سیستم پیزومتریک (پیزومترهای الکتریکی) و فشارسنجی خاک در شکل ارائه شده است. دراین مقطع(مقطع ۱۹) از بدنه سد مجموعا ۱۱ پیزومتر الکتریکی به ترتیب ۳ پیزومتر در داخل بدنه سد، یک پیزومتر در حدفاصل پی و بدنه سد و ۷ پیزومتر در داخل پی سد مدنظر قرار گرفته است. در مورد تغییرشکل های بدنه و پی، از داده های نشست سنجی و انحراف سنجی پروژه مورد استفاده شده است. برای دستیابی به تغییرشکلهای بدنه و پی ، انحراف سنجهای قائم به همراه صفحات مغناطیسی نشست سنجی در مقاطع مختلف بدنه سد بکار رفته است.



شکل ۲- جانمایی ابزار دقیق سدکبودوال در مقطع۱۹

مدل موهر-کولومب(MC)

این مدل شامل پنج پارامترورودی است. پارامتر های مدول یانگ و ضریب پواسون برای الاستیسیته خاک و چسبندگی و زاویه اصکاک داخلی خاک برای پلاستیسیته خاک و زاویه اتساع است. مدل موهرکلمب یک تقریب مرتبه اول ازرفتارسنگ یاخاک را نشان می دهد. پیشنهاد شده است که این مدل برای تحلیل اولیه ازمساله استفاده شود. مدل موهر- کولمب از ساده ترین مدلهای رفتاری خاک می باشد و از آنجایی که در این مدل اکثر پارامترهای اساسی خاک، اعم ازخمیری وکشسان وجود دارد برای مدل کردن اکثر حالات رفتاری خاک مناسب می باشد. مفهوم پلاستیسیته اصولاً به کرنش های غیرقابل برگشت مربوط می شود.

این مدل به دلیل سادگی و عدم نیاز به پارامترهای متعدد، در بسیاری از تحقیقات مورد استفاده واقع می شود. مفهوم پلاستیسیته اصولاً به کرنش های غیرقابل برگشت مربوط می شود. به این منظور یک تابع تسلیم تنش-کرنش به عنوان یک سطح در فضای تنش های اصلی معرفی می شود تا نقاط پلاستیک را بتوان ارزیابی کرد. بدیهی است نقاطی داخل سطح تسلیم رفتار ارتجاعی کامل دارند. براساس این مدل،کرنش و نرخ کرنش از دو بخش الاستیک و پلاستیک تشکیل میشوند. به عبارتی

$$\underline{\sigma}' = (\underline{\underline{D}}_0^e - \frac{a}{d}\underline{\underline{D}}_0^e \frac{\partial g}{\partial \sigma'}\frac{\partial f^t}{\partial \sigma'}\underline{\underline{D}}_0^e)\varepsilon^{0\prime} \qquad (۱)$$

بر اساس تئوری پلاستیسیته (هیل، ۱۹۵۰) کرنش های پلاستیک متناسب با مشتق تابع تسلیم نسبت به تنش هامی باشد. به عبارتی کرنش های پلاستیک را می توان به صورت بردارهایی عمود بر سطح تسلیم در نظر گرفت. بر این اساس می توان رابطه بین نرخ تنش مؤثر و کرنش مؤثر را به دست آورد.

در این رابطه $d = \frac{\partial g}{\partial \sigma'}\underline{\underline{D}}_0^e \frac{\partial f^t}{\partial \sigma'}$ است. معیار تسلیم مور-کلمب از شش تابع تسلیم که بر حسب تنش های اصلی بوده و یک مخروط شش وجهی را در فضای تنشهای اصلی تشکیل می دهند می توان به صورت رابطه کلی زیر نشان داد:

$$f_{(j,i,k)} = \frac{1}{2}\left|[\sigma'_{(j,k,i)} - \sigma'_{(k,i,j)}]\right| + \frac{1}{2}\left|[\sigma'_{(j,k,i)} + \sigma'_{(k,i,j)}]\right| \sin\emptyset - c\cos\emptyset \leq 0 \qquad (۲)$$

که i,j,k به ترتیب برابر ۱و۲و۳ هستند .دو پارامتر و در این مدل، چسبندگی و f زاویه اصطکاک خاک هستند .هم چنین شش تابع پتانسیل پلاستیک را برای این مدل را به صورت رابطه کلی زیر می توان تعریف کرد:

$$g_{(j,i,k)} = \frac{1}{2}\left|[\sigma'_{(j,k,i)} - \sigma'_{(k,i,j)}]\right| \frac{1}{2}\left|[\sigma'_{(j,k,i)} + \sigma'_{(k,i,j)}]\right| \sin\emptyset \leq 0 \qquad (۳)$$

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

مدل سازی

نرم افزار پلاکسیس دوبعدی:

برای تحلیل تغییرشکل و پایداری در پروژه های مهندسی که با رفتار خاک ارتباطی تنگاتنگ دارند از قبیل مهندسی ژئوتکنیک،کاربرد دارد. با این نرم افزار می توان خاکبرداری و خاکریزی مرحله ای، شرایط بارگذاری و شرایط مرزی مختلف را با استفاده از المان های مثلثی ۶ گرهی و ۱۵ گرهی مدل سازی نمود. نرم افزار مزبور قادر به شبیه سازی رفتار غیر خطی و وابسته به زمان خاک و نیز تحلیل سد در دوران ساخت و نیز دردوران بهره برداری با در نظر گرفتن فشار آب منفذی است. هم چنین تحلیل پلاستیک، ساخت مرحله ای و تحلیل دینامیکی با این نرم افزار ممکن است. با استفاده از این نرم افزار مدل های رفتاری گوناگون خاک، نظیر الاستیک خطی، موهر-کلمب، خزشی نرم شونده، نرم شونده و سخت شونده را می توان برای رفتارهای گوناگون خاک در دوران ساخت و یا بهره برداری در نظر گرفت. برای تحلیل سد کبودوال از مدل موهر-کلمب استفاده شده است.

نرم افزار افزار پلاکسیس یک برنامه اجزای محدود است که اززوش غیرصریح برای مدل سازی عددی استفاده می کند. برنامه های اجزای محدود نرم افزاراغلب ماتریس اجزا را ترکیب کرده و یک ماتریس سختی کل می سازند. به عبارتی حوزه ی تعریف تابع ازتعداد متناهی المان با تعدادثابتی گره تشکیل شده است . تغییرمکان های گره ای هرالمان با استفاده ازتابع شکل که جابجایی های گرهی رابه هم مرتبط می کندتخمین زده می شود. معادلات دیفرانسیل بامشتقات نسبی اولیه بامجموعه معادلات جبری جایگزین می شوندوبه این ترتیب ماتریس سختی کل شکل می گیرد.باحل دستگاه معادلات جابه جایی نقاط تعیین می شود وبه کمک آن هامی توان تنش ها وکرنش های هرالمان آن رابه دست آورد.

نرم افزار پلاکسیس سه بعدی:

نرم‌افزار Foundation Plaxis 3d یک برنامه المان محدود سه بعدی است که جهت بررسی و آناالیز پی‌های دور از ساحل، خاکریزها و شمع‌ها استفاده می‌شود. این برنامه ورودی‌های ساده را از کاربر دریافت کرده و با گرافیکی ساده ترکیب می‌کند ودر نهایت به طور خودکار مدل‌های پیچیده المان محدود را با خروجی پیشرفته و انعطاف پذیری بالا ایجاد می‌کند.

در نهایت با انجام تحلیل های برگشتی مختلف، روی پارامترهای مشخصه ی مصالح، شرایط اولیه و شرایط مرزی، تطابق مناسبی بین نتایج ابزارها و مدل عددی حاصل گردید و شرایط مرزی مناسب و پارامترهای دقیق تری برای مصالح پیشنهاد گردید.

مدل سازی درنرم افزار پلاکسیس دوبعدی

برای تحلیل تنش-کرنش سدهای خاکی و خاکریزه ای معمولا از روش اجزای محدود به صورت دو بعدی در شرایط کرنش صفحه ای که موجب ساده شدن محاسبات گشته استفاده می شود. تحقیقات نشان داده که تحلیل دو بعدی سدهای خاکی که دارای نسبت طول تاج به ارتفاع بزرگی دارند، دارای تقریب خوبی از واقعیت است (پاتس و زراکویک،۲۰۰۱).

تنها در مورد سدهایی که در دره های تنگ ساخته می شوند و احتمال پدیده قوسی شدن وجود دارد، استفاده ازتحلیل سه بعدی توصیه شده است. به منظور تحلیل تنش-کرنش سد کبودوال از نرم افزا ر پلا کسیس (نسخه۲/۸) که بر اساس روش اجزای محدود قادر به تحلیل تنش-تغییر شکل و پایداری سازه های ژئوتکنیکی درحالت کرنش صفحه ای و نیز محاسبه جریان آب در این گونه سازه هاست، استفاده شده است (برینکگریو و ورمیر، ۲۰۰۱) در محاسبات تراوش جریان و تحلیل های هیدرولیکی افزار پلاکسیس علاوه بر محاسبه فشارهای سیال در حالت ساکن که از روی خط آزاد جریان صورت می گیرد، اضافه فشارهای حفرهای ناشی از اعمال بار را نیز در صورت زهکش نبودن خاک در نظر می گیرد و این دو فشار را با هم جمع می کند.

$$P_{active} = P_{steady} + P_{excess} \qquad (۳)$$

برای انجام تحلیل های عددی تنش - کرنش به دلیل سازگاری نتایج نرم افزار افزار پلاکسیس در محیط های خاکی ازاین نرم افزار استفاده شده است. در ابتدا با مدل کردن هندسه بستر ولحاظ کردن شرایط مرزی مدل که با شرایط مرزی لحاظ شده گیرداری کامل در پائین هندسه و شرایط تکیه گاه غلتکی در کناره های عمودی ایجاد می شود، به منظور شبیه سازی رفتار خاک، پارامترهای مقاومتی مصالح به هندسه مدل تخصیص داده می شود. پس از ساخت مدل، شبکه اجزای محدود مش بندی مقطع ایجاد می شود. در ساخت مش از المان های ۱۵ گرهی برای مدل کردن توده خاک استفاده شده است. بر همین اساس، اندازه ریز برای مدل کردن اندازه شبکه المان ها در نظر گرفته شده است. هم چنین برای حذف شرایط مرزی از هر طرف بسترحداقل ۲ برابر عرض ماکزیمم بدنه از توده خاک مدل شده و

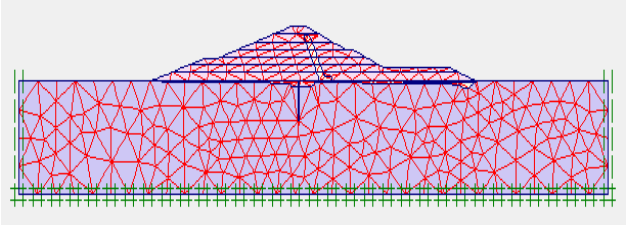
ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

با مرز مناسب جایگزین شده است. به وسیله این نرم افزار ساخت لایه لایه و مرحله ای سد مدل شده و پدیده تحکیم شبیه سازی شده و تحلیل های عددی در دو محیط تنش کل و تنش موثر انجام گرفته است. در شکل۵ هندسه مدل و مش بندی مقطع ۱۹ سد به منظور انجام تحلیل های عددی برگشتی ارائه شده است. در این تحلیل اطلاعات جمع آوری شده توسط ابزار دقیق در سه سال متوالی از سال ۸۷ تا سال ۹۰ که زمان مراحل پایانی سد می باشد بانتایج حاصل از مدل سازی عددی مورد بررسی قرار گرفته است. این مقایسه در یکی از مقاطع میانی سد کبود وال (مقطع ۱۹) که دارای ابزار دقیق می باشد، بین داده های ابزار دقیق و مدل نرم افزاری انجام شده است. برای تطابق داده ها نقطه ای واقع در محور سد کمی بالاتر از پی سد، در نظر گرفته شده و نتایج حاصل از ابزار دقیق و نرم افزار باهم در یک تحلیل برگشتی تقریبا یکی شده است.

مشخصات مصالح تشکیل دهنده بدنه سدکبودوال که شامل سه بخش اصلی فیلترو پوسته و پی است، در جدول ۲ آورده شده است.

مقادیر وزن مخصوص مرطوب و وزن مخصوص از آزمایش تراکم به دست آمده است. پارامترهای رفتاری خاک در این جدول از آزمایشات سه محوری روی نمونه هایی که با همان وزن مخصوص مرطوبت تهیه شده بودند به دست آمده است. آزمایشات روی مصالح بخش های گوناگون سد هم در فاز مطالعاتی و هم در زمان ساخت انجام شده است در طول ساخت در صورت مشاهده هرگونه تغییر احتمالی در نوع خاک منابع قرضه،آزمایشات طبق نظر مشاور انجام و پارامترهای اندازه گیریشده مجدداً کنترل می شدند(گزارش فنی ۱۳۹۰).

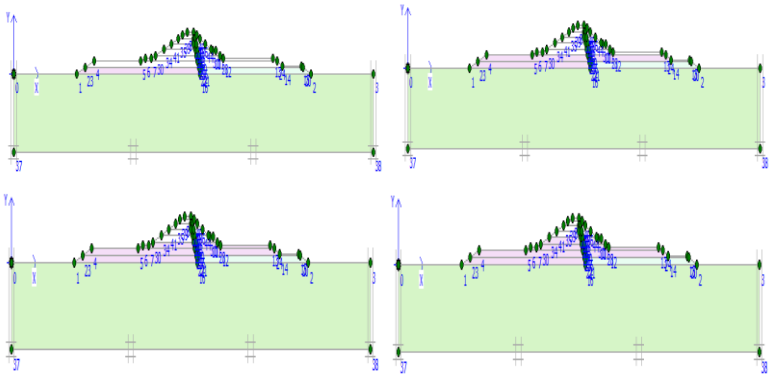
در ادامه در نرم افزار ۱۶ فاز محاسباتی برای خاکبرداری و خاکریزی مقطع سد بروش ساخت مرحله ای تعریف شد.



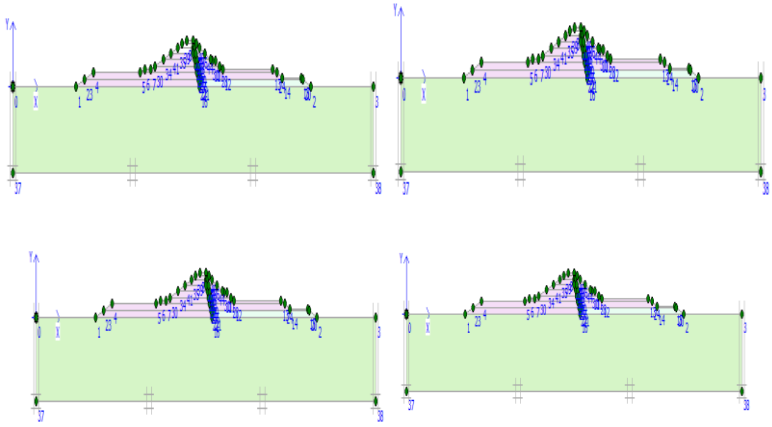
شکل۳- هندسه مدل و مش بندی مقطع

جدول ۱- مشخصات مصالح در مدل رفتاری سخت شونده و موهرکلمب و نرم شونده

خصوصیات مصالح	نوع مصالح	γ_{unsat} (KN/m^3)	γ_{sat} (KN/m^3)	E_{ref} (KN/m^2)	ν	C_{ref} (KN/m^2)	Φ (°)	$K_{x,y}$ (m/day)
پی	Undrain	17	20	1.0e+4	0.3	18	29	8.68e-5
بدنه	Drained	19	23	1.0e+4	0.4	22	25	8.68e-3
فیلتر و زهکش	Drained	20	21	2500	0.25	12	36	8.64



ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir



شکل ۴– روند خاکریزی مقطع ۱۹در نرم افزار پلاکسیس

مدل سازی درنرم افزار پلاکسیس سه بعدی

نحوه ساخت مدل

برای هر پروژه در این نرم‌افزار، ابتدا لازم است مدل هندسی ایجاد شود. یک مدل هندسی، شکلی از یک مسئله واقعی سه بعدی می‌باشد که از طریق سطح کار[1] و چاهک‌ها[2] تعریف می‌شود. یک مدل هندسی بایستی دارای لایه‌های مختلف خاک، اهداف ساختاری، مراحل ترسیمی و بارگذاری باشد.در مدل کردن در حالت سه بعدی نکات زیر در نظر گرفته شده است.

- از مش بندی متوسط استفاده گردیده است.
- تمام مشخصات خاک همانند مشخصات مدل دو بعدی است.
- عرض مدل ۵۰ متر، پی سد ۴۰ متر
- تمام فازها مانند فاز دو بعدی است.

چاهک‌ها

چاهک‌ها در مدل هندسی ابزاری هستند که سطح پی، لایه‌های خاک و سطح ایستایی آب را در منطقه‌ای معین تعریف می‌کنند. در طول اجرای مش‌بندی سه بعدی، وضعیت لایه‌های خاک میان چاهک‌ها متناسب می‌شود و مش‌بندی به گونه‌ای گسترش یافته که حد و مرزهای میان لایه‌های خاک همواره بر حد و مرزهای المان‌ها منطبق می‌باشد.

سطوح کار

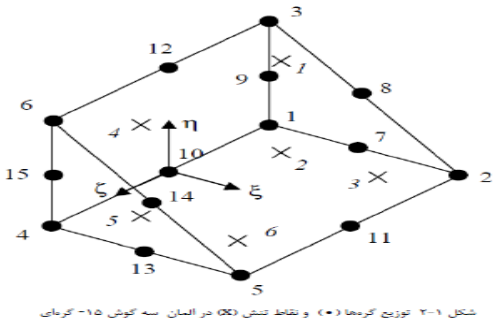
سطوحی افقی هستند که جهت بارگذاری‌ها و ایجاد شکل‌ها در مدل استفاده می‌شوند.

المان‌ها

در این نرم‌افزار از المان‌های مثلثی استفاده می‌شود که شامل ۱۵ گره هستند. توزیع گره‌ها بر روی المان‌ها در شکل زیر آمده است. المان‌های همجوار از طریق گره‌های مشترکشان در ارتباط هستند. در طول محاسبات یک المان محدود، تغییر مکان‌های Ux، Uy و Uz در گره‌ها محاسبه می‌شوند.

[1] Work Plan
[2] Bore Holes

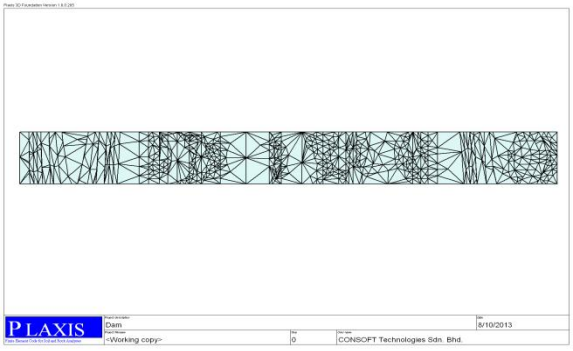
ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir



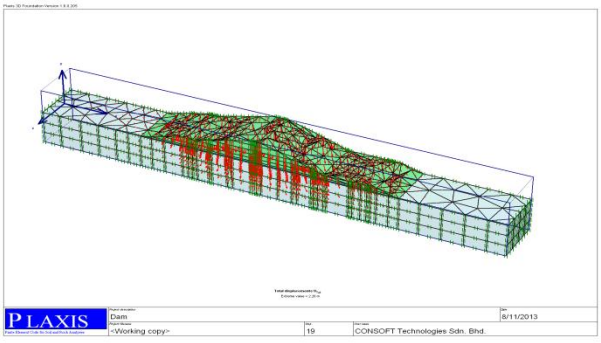
شکل۵- توزیع گره‌ها و نقاط تنش در المان سه گوش ۱۵ گرهی در پلاکسیس سه بعدی

مش‌بندی

زمانی‌که مدل هندسی ترسیم گردید و اطلاعات کامل چاهک‌ها وارد شد، توصیه این است که یک شبکه محدود دو بعدی از اجزا، قبل از ساخت شبکه کامل سه بعدی ساخته شود. پس از ایجاد شبکه دو بعدی، بایستی مدل کاملاً به شبکه سه بعدی بسط داده شود که از این طریق اطلاعات در جهت عمودی روی مرزهای سطوح، تراز ساخت و تغییرات هندسی وارد شود.



شکل۶- مش‌بندی دو بعدی در پلاکسیس سه بعدی

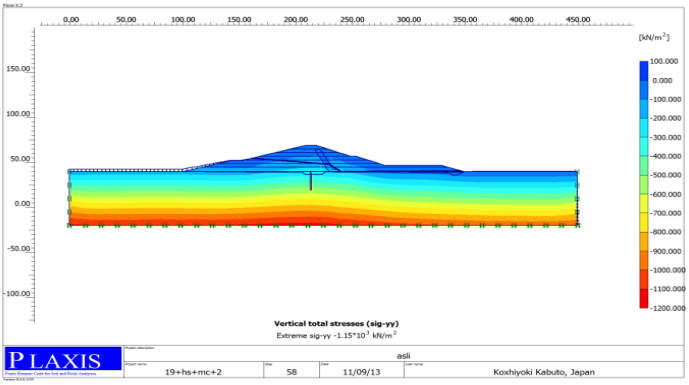


شکل۷- مش‌بندی سه بعدی در پلاکسیس سه بعدی

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

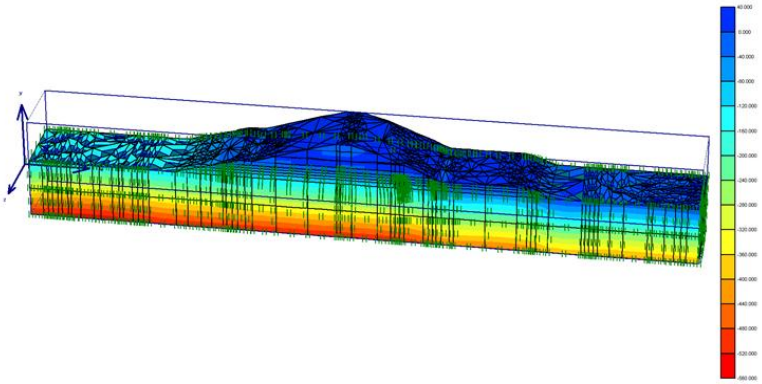
نتایج وبحث

نتایج حاصل از نرم افزاردو بعدی



شکل۸- توزیع تنش کل قائم در مقطع سد درآخرین مرحله خاکریزی مقطع ۱۹ در پلاکسیس دو بعدی

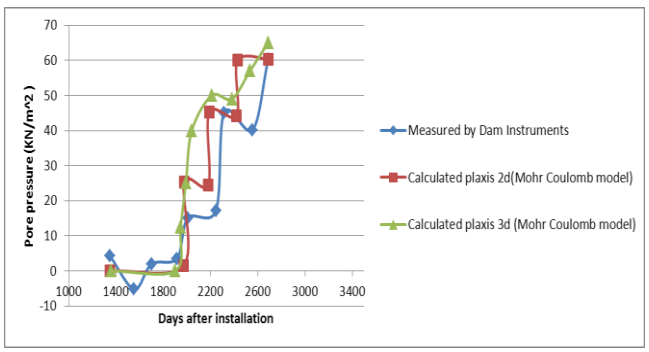
نتایج حاصل از نرم افزارسه بعدی



شکل۹- مقدار تنش کل در آخرین مرحله خاکریزی در حالت سه بعدی،مقطع ۱۹

بررسی فشار آب حفره ای

مهمترین عواملی را که در دوران ساخت باید دایم بررسی کرد فشار آب منفذی، تنش های ایجاد شده و نشست است. نظر به اینکه برای اجرای بدنه سد رطوبت خاک حوالی رطوبت بهینه و درصد تراکم حدود ۹۸ درصداست، هنگام متراکم کردن ، خاک حالت بیش تحکیم یافته پیدا می کند و ممکن است فشار منفذی منفی دربدنه به وجود آید (فل و همکاران، ۱۹۹۹).



نمودار۵- وضعیت تغییرات فشار آب حفره ای مقطع۱۹-۱۹ سد حاصل از ابزار دقیق و آنالیز برگشتی

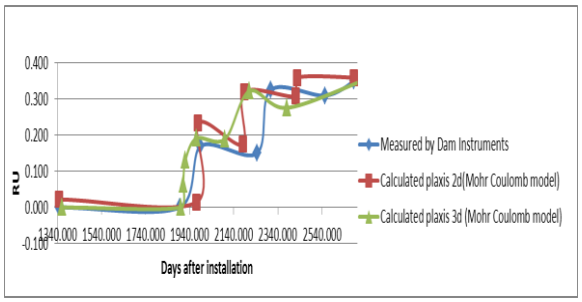
ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

همان طورکه در شکل های بالا دیده می شود، با ساخت مرحله ای به علت افزایش حجم سربار مقدار فشار آب حفره ای در حال افزایش است. در شرایط خاصی ممکن است افزایش فشار آب حفره‌ای موجب کاهش شدید مقاومت برشی خاک شود و در یک مرحله بحرانی گسیختگی و تخریب سد را بدنبال داشته باشد. عوامل اصلی کنترل کننده فشار آب حفره‌ای در حین ساخت عبارتند از : نفوذپذیری خاک ، مدول بالک آب و مدول بالک اسکلت خاک ، رطوبت خاکریزی ، شرایط زهکشی، حالت تنش در منطقه مورد بررسی و نیز سرعت پخش فشار آب حفره‌ای در حین ساخت که تابع سرعت عملیات خاکریزی و نفوذپذیری مصالح است. زمانی‌که از خاک مرطوب با تراکم‌پذیری بیشتر برای ساخت خاکریز استفاده می‌شود افزایش فشار آب حفره‌ای بیش تر خواهد بود. اما زهکش‌ها و کشش سطحی بین ذرات باعث کاهش فشار آب حفره‌ای می‌شود. همان طور که انتظار می‌رود یکی از مهمترین فاکتورهای تاثیرگذار بر افزایش فشار آب حفره‌ای میانگین میزان رطوبتی ا ست که خاکریز با آن کوبیده شده است. به جز دو استثنا، اگر با میانگین میزان رطوبتی کمتر از ۶ ۰ درصد رطوبت بهینه پروکتور خاکریزی شود، فشار آب حفره‌ای به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد و اگر در خاکریز مقدار کمی مصالح خشک‌کننده وجود داشته باشد، فشار آب حفره‌ای افزایش نمی‌یابد. یکی از راه‌های کاهش فشار آب حفره‌ای خاکریزی در میانگین میزان رطوبت کمتر از بهینه می‌باشد. زه کشی یکی از راه های کاهش فشار آب حفره‌ای در مصالح ناتراوایی که در مجاورت مصالح با نفوذپذیری بالا قرار دارند، می‌باشد. اما به دلیل سرعت ساخت معمولاً زه کشی تاثیر قابل توجهی بر کاهش فشار آب حفره‌ای ندارد. نظر به اینکه نفوذپذیری رس در برابر آب بسیار پایین و خروج آب مستلزم زمان قابل ملاحظه‌ای می‌باشد، شرایط بعدی حاکم بر بدنه از نظر وضعیت فشارها، تابع سرعت نسبی افزایش سربار و خروج آب است و چنان چه سرعت عملیات خاکریزی چندان زیاد نباشد، ضمن بالا رفتن فشار آب حفره‌ای در داخل بدنه در اثر افزایش سربار قدری استهلاک فشارها صورت گرفته به گونه‌ای که خطر افزایش شدید و ناگهانی فشار آب حفره‌ای و بروز پدیده شکست هیدرولیکی بوجود نخواهد آمد.

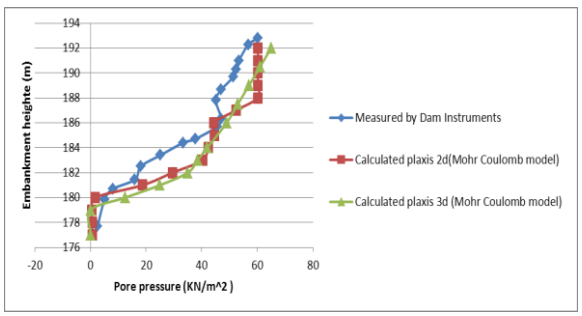
Ru یا ضریب فشار آب حفره ای شاخص مهم در ارزیابی فشار آب حفره ای است، از محاسبه نسبت فشار آب حفره ای ثبت شده به فشار خاک اندازه گیری شده، می توان ضریب Ru را برای دوران ساخت در دو موقعیت بالادست و محور سد این مقطع تعیین نمود.ضریب فشار آب حفره ای=نسبت فشار آب حفره ای ثبت شده تقسیم بر فشار خاک اندازه گیری شده

$$R_U = \frac{U}{\sigma_v} \qquad (۴)$$

شکل ۶وضعیت تغییرات پارامتر Ru مقطع۱۹-۱۹ در نقطه نشان داده شده در بدنه سد را نشان می دهد، همان طور که دیده می شود مقدار آن کمتر از ۰/۴۰ است. بارگذاری بدنه سد (تکمیل خاکریزی بدنه سد) بوده است. در مجموع، این محدوده تغییرات در رنج مجاز قرار دارد.



نمودار۶- وضعیت تغییرات پارامتر Ru مقطع۱۹-۱۹ در محور سد حاصل از ابزار دقیق و آنالیز برگشتی

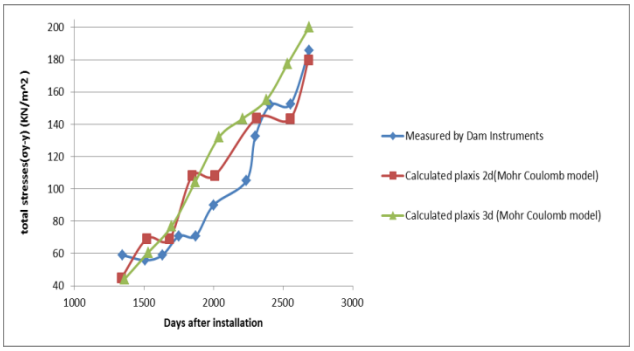


نمودار۷-تغییرات فشار آب حفره ای پیزومتر و مدل رفتاری (آنالیز برگشتی) در رقوم مختلف خاکریزی مقطع۱۹

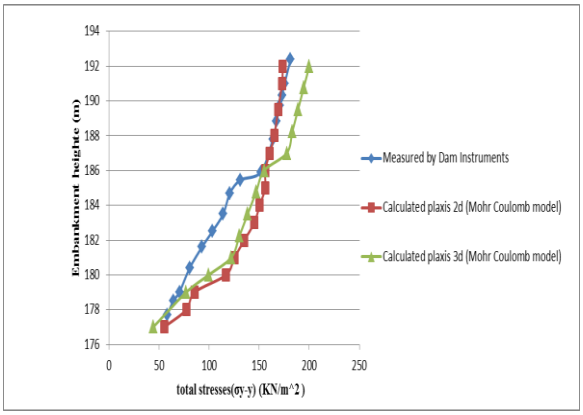
ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

تعیین تنشهای اصلی

اصولاً تنش سنج هایی که در سدهای خاکی نصب می شوند فقط تنشهای عمودی را اندازه گیری کرده و قادر به اندازه گیری تنشهای برشی نیستند. در حالت کلی بر اساس روابط مکانیک جامدات هنگامی که مقادیر تنشهای عمودی در یک نقطه و در سه جهت دلخواه مشخص باشند تنشهای اصلی را در آن نقطه می توان محاسبه کرد (اگورال و فنستر،۱۹۸۴).



نمودار۸- وضعیت تغییرات تنش کل بازمان ساخت مقطع۱۹ حاصل از ابزار دقیق و آنالیز برگشتی



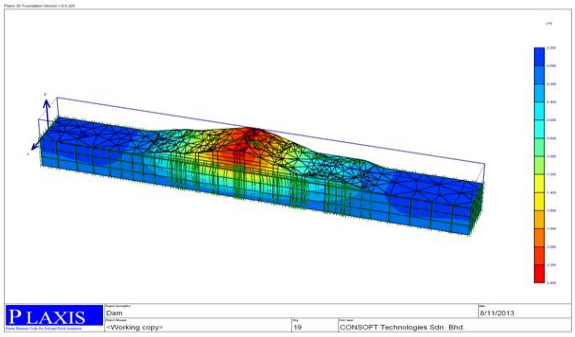
نمودار۹- وضعیت تغییرات تنش کل با ارتفاع خاکریزی مقطع۱۹ حاصل از ابزار دقیق و آنالیز برگشتی

بررسی نشست

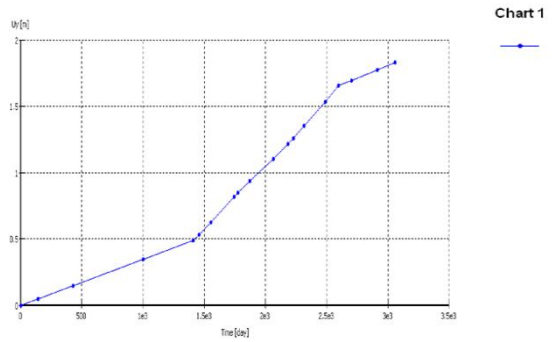
نشست سد به دو بخش نشست درطول ساخت و پس از ساخت (دوران بهره برداری) می توان تقسیم کرد. (پاگانو و همکاران، ۱۹). مقطع شماره ۱۹ در کیلومتراژ ۰+۶۶۰ واقع گردیده، می تواند بعنوان اولین مقطع بخش میانی بدنه سد مورد بررسی قرار گیرد. بیشترین نشست تجمعی بدنه و پی این مقطع در دوران ساخت سد ۱۸۵۰ میلیمتر بوده است. به عبارتی نشست اختلافی معادل ۵۸۳ میلیمتر در بین این مقطع و مقطع شماره ۱۴ برای پی سد قابل استناد است. این نشست اختلافی که در طول ۲۰۰ متر رخ داده با معیارهای طراحی پوشش داده شده است.

نکته قابل توجه اینکه به نظر می رسد با توزیع مناسب تغییرشکل ها در بدنه سد در پیرامون مقطع شماره ۹، عوارض ناشی از افت ناگهانی تراز سنگ بستر کنترل شده است و با دور شدن از مقطع شماره ۹ نشستهای اختلافی تا مقطع ۱۹ به ارقام کمتر از ۲۰۰ سانتیمتر رسیده است. نشست بدنه سد در این مقطع تناظر مناسبی با مقاطع بدنه سد دارد.

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir



شکل۱۰- مقدار نشست در آخرین مرحله خاکریزی در حالت سه بعدی، مقطع ۱۹



نمودار۱۰- وضعیت تغییرات نشست با زمان ساخت در حالت سه بعدی ،مقطع۱۹

همان طور که از شکل های بالا دیده می شود، هردو نرم افزا مقدار نشست نهایی را بخوبی نشان داده اند . بنابراین نتایج حاصل از دوبعدی با سه بعدی تطابق خوبی با هم دارند.

جدول۲-مقایسهٔ نتایج آنالیز با ابزار دقیق سد کبودوال بلافاصله پس از ساخت پلاکسیس دو بعدی

نتایج آنالیز عددی			نتایج ابزاردقیق			موقعیت			
ضریب فشار آب منفذی Ru(pp/gH)	تنش کل kN/m2	فشار آب منفذی kPa	ضریب فشار آب منفذی Ru(pp/gH)	تنش کل kN/m2	فشار آب منفذی kPa	موقعیت نسبت به محور سد	تراز نصب	مقطع نصب	ابزار
۰.۳۲	۱۵۰	۴۹	۰.۳۵	۱۴۵	۵۱	-۱۵	۱۷۰	۱۹	Ep19-7, Tpc19-1
۰.۳	۲۰۰	۶۱	۰.۲۸	۱۸۹	۵۳.۷۴	۰	۱۶۳	۱۹	Ep19-8, Tpc19-1
-	-	۴۰	-	-	۳۸.۴۳	+۶	۱۶۰	۱۹	Ep19-6
-	-	۲۰۰	-	-	۱۸۴	+۶	۱۵۰	۱۹	Ep19-11

جدول۳-مقایسهٔ نتایج آنالیز با ابزار دقیق بلافاصله پس از ساخت مدل سه بعدی

نتایج آنالیز عددی			نتایج ابزاردقیق			موقعیت			
ضریب فشار آب منفذی Ru(pp/gH)	تنش کل kN/m2	فشار آب منفذی kPa	ضریب فشار آب منفذی Ru(pp/gH)	تنش کل kN/m2	فشار آب منفذی kPa	موقعیت نسبت به محور سد	تراز نصب	مقطع نصب	ابزار

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

Ep19-7, Tpc19-1	۱۹	۱۷۰	-۱۵	۵۱	۱۴۵	۰.۳۵	۵۰	۱۵۱	۰.۳۲
Ep19-8, Tpc19-1	۱۹	۱۶۳	۰	۵۳.۷۴	۱۸۹	۰.۲۸	۷۰	۲۰۰۵	۰.۳
Ep19-6	۱۹	۱۶۰	+۶	۳۸.۴۳	–	–	۴۰	–	–
Ep19-11	۱۹	۱۵۰	+۶	۱۸۴	–	–	۲۰۰	–	–

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

نتیجه گیری و پیشنهادات

در این تحقیق سعی شده است که نتایج حاصل از قرائت های ابزار دقیق با نتایج تحلیلی بر اساس مدل رفتاری موهر-کلمب ودر دو حالت دو و سه بعدی مقایسه شود.

نرم افزار پلاکسیس سه بعدی همانند پلاکسیس دو بعدی بخوبی توانسته مدل سازی را انجام دهد و نتایج آن با ابزار دقیق تطابق خوبی دارد. به طور کلی فشار و اضافه فشارهای حفره ای آب در بدنه و پی مقاطع عرضی در حد قابل انتظار بوده و فشارهای خاک نیز در محدوده مجاز قرار دارند. ضریب Ru همواره کمتر از ۰/۴ بوده است. مقدار نسبت Ru با توجه به فرصت زمانی پس از تکمیل بدنه سد، روند کاهشی داشته اند که نشان از زهکشی اضافه فشار آب حفره ای در بدنه و پی دارد. لذا انتظار افزایش نشست ها با نرخ بیشتر برای بدنه و پی قابل تصور است. به طور کلی نتایج این روش، ضمن معرفی سلامت روش بکار رفته در اجرای بدنه سد، نگرانی ناشی از بروز ترکهای کششی عرضی به جهت تغییرشکل های اختلافی بدنه را مرتفع نموده است.

استفاده از نرم افزارهای دیگری مثل Ansys ، Flac، Slideو ... در حالت دو و سه بعدی که قابلیت مدل کردن سد های خاکی را دارا می باشد و مقایسه نتایج به دست آمده از تحلیل نرم افزاری با نتایج ابزار دقیق به منظور رفتار نگاری سد. سدکبودوال دارای فیلتر و زهکش مایل و افقی طراحی شده است. مدل کردن این سد با فیلتر و زهکش افقی و قایم و مقایسه نتایج آن با فیلتر و زهکش مایل و افقی. مدل کردن این سد با هسته رسی و مقایسه نتایج آن با سد بدون هسته فعلی همچنین افزایش ارتفاع سد با استفاده از plaxis و به دست آوردن ارتفاع بهنیه.

ISSN: 2475-3673
http://www.Racj.ir

منابع و مراجع

[۱] وفائیان، م.، " سدهای خاکی" ، چاپ سوم، انتشارات جهاددانشگاهی واحد صنعتی اصفهان-مرکز انتشارات؛

[۲] گزارش رفتار سنجی سد کبودوال سال ۹۲،شرکت سهامی آب منطقه ای گلستان

[۳] داده های ابزار دقیق سد کبودوال سال ۹۱،شرکت سهامی آب منطقه ای گلستان

[۴] بلوری بزار،ج. مبینی زاد،محسن. ارزیابی رفتار سد خاکی نهرین در طول ساخت به روش اجزای محدود و مقایسه با مقادیر واقعی. مجله پژوهش آب ایران. سال چهارم/ شماره ششم/ بهار و تابستان ۱۳۸۹ (۱۰-۱)

[۵] حکیمی خانسر،ح. وهمکاران. ارزیابی رفتار سد های خاکریزه ای با استفاده از نرم افزارPLAXIS و مقایسه آن با نتایج ابزار دقیق (مطالعه ی موردی سد کبودوال). پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، بهمن ۱۳۹۲.

[6] R.B.J. Brinkgreve, Plaxis Manual, Finite Element Code for Soil and Rock Analyses, Delf University ofTechnology & b.v, The Neatherlands, 2002
ICOLD, "World Register of dams", 1988, Paris.

[7] Kuo, j. t. and Yen, B. C.,"Risk Analysis in Dam Safety Assessment", 1999, Water

[8] Resources Publications, 179p.

[9] Maloney, T., "What if you to keep your dam?", 1999, Haustonic Current, summer, SR8.

[10] Clough, G. W. and R. J. Woodward. 1967. Analysis of Embankment Stress and Deformation. Proceedings Paper,

[11] J.Soil Mech. and Found. Div., ASCE 93(4):529-549.9-, Instituto de Ingernieria, UNAM, Mexico City, Mexico