بررسی نشست سدهای خاکی با استفاده از تحلیلهای عددی Geo_Slope

(بررسی نشست سد مهاباد بعنوان مطالعه موردی)

کمال رحمانی

مربی گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی مهاباد

صابر پیروتی

مربی گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی مهاباد

ارسطو ارمغانی

استادیار مهندسی عمران ـ سازه دانشگاه آزاد اسلامی مهاباد

چکیده

اولین مسئله ای که در ساخت سدهای خاکی مدرن حیاتی می باشد کنترل و رفتارنگری صحیح این سازه های ژئوتکنیکی می باشد. از نتایج تجربی این کار تبیین ضوابطی است که بتواند ما را در انجام کارهای آینده کمک کند. در حال حاضر به نظر می رسد که روش آنالیز معکوس یک ابزار بسیار سودمند در دست مهندسین برای فهمیدن رفتار سد می باشد. با پیشرفت های حاصل شده در زمینه روش های تحلیلی و نیز وجود داده های خوب و انجام آنالیزهای معکوس زیاد، الگوی رفتاری نشست قائم ضمن ساخت به صورت یک قانون اساسی برای تصمیم گیری در خلال ساخت سدها در آمده است.

در این مقاله رفتار نگاری سد مخزنی مهاباد با استفاده از اطلاعات ابزار دقیق و تحلیل های عددی مورد بررسی قرار گرفته است در انجام تحلیل عددی از بسته نرم افزاری Geo_slope که یک نرم افزار تحلیلی بر اساس روش المان محدود می باشد استفاده شده است.

به کمک بررسی داده‌ها و انجام آنالیز معکوس وضعیت سد خاکی مهاباد از نظر تغییر شکل‌ها و تراوش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.از آنجایی‌که بیش از ۳۰ سال از عمر سد می‌گذرد،در همان ابتدای ساخت این سد نشست‌ها و جابه‌جایی‌ها افقی غیر متعارفی در بدنه سد ملاحظه شده است. بطوریکه نشست پی تا زمان اتمام عملیات اجرایی (از سال ۱۳۴۴ تا ۱۳۴۸) ۱۲۵ سانتی‌متر و در دوره بهره‌برداری (از سال ۱۳۴۹ تا سال ۱۳۷۶) ۷۰ سانتی‌متر اندازگیری شده است. از زمان ساخت تا سال ۱۳۷۶ حداکثر نشست و جابه‌جایی افقی به ترتیب برابر ۱۴۰ و ۱۱۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری گردیده است.پس از اجرای دیوار آببند و تکمیل عملیات تزریق در پی سد، میزان تراوش از پی نیز کاهش یافته و طبق محاسبات عددی در حد ناچیز (۰/۰۴ سانتی‌متر مکعب در دقیقه) و میزان تراوش در بدنه سد نیز ۷/۵ سانتی‌متر مکعب در دقیقه می‌باشد.

کلید واژه‌ها:

سد مهاباد، رفتارنگاری، المان محدود، تغییر شکل، تراوش، ترک

۱- مقدمه

از قابلیت‌های اساسی یک سد این است که می‌تواند حجم زیادی از آب را پشت خود ذخیره کند. آب در شرایط حاضر یک عنصر اساسی در پیشرفت و تحرک اقتصادی یک منطقه به حساب می‌آید. اکثریت سدهای اولیه، بتنی بودند تا اینکه از سال ۱۹۳۰ با پیشرفت علم ژئوتکنیک و آگاهی به رفتار خاک، سد خاکی به عنوان اولین گزینه در صنعت سد سازی جهان مطرح شد. بهبود روش‌های کنترل پایداری، استفاده از تنش موثر و اندازه‌گیری فشار آب حفره‌ای باعث ایمن شدن ساخت سدهای خاکی شد.

با وجود این پیشرفت‌ها لغزش‌هایی نیز روی داده است که می‌توان مثال‌های متعددی را برای آن ارائه کرد و این نشان می‌دهد که نیازمند تدوین روش‌های جدید در کنترل و اجرا هستیم. در حال حاضر این نظریه مطرح است که به‌جای استفاده از ضریب اطمینان‌های موجود در مقابل لغزش، طراحی‌ها بر اساس تغییر شکل‌های قابل قبول انجام گیرد. یک روش تحلیلی استفاده از تکنیک المان محدود است که قابلیت پیش‌بینی پارامترهای تغییر شکل را دارد. تجربه نشان داده است ابزارها باید توسط مهندسین مجرب طراحی و نصب شوند. طراحی و نصب نادرست ابزارها و تجهیزات می‌تواند منجر به نتایج غیر مفید یا گمراه کننده گردد. اندازه دقیق جابه‌جائی‌هایی قائم حتی بدون نصب اندازه‌گیری جابه‌جایی داخلی می‌تواند بیان کننده تغییرات غیر قابل قبول حرکات بدنه سد باشد. بنابراین کنترل حرکات سدها اهمیت ویژه‌ای دارد. این مسئله علاوه بر کنترل سد می‌تواند کمک شایانی به مهندسین ژئو تکنیک در بهبود تئوری‌ها و اصلاح روش بکند. بدیهی است که موارد غیر عادی اهمت بیشتری دارد تا مهندسین با چالش‌هایی که در اجرا پیش می‌آید آشنا شده و برای آن چاره اندیشی کنند.

۲- سد مخزنی مهاباد

سد مهاباد بر روی رودخانه مهاباد در استان آذربایجان غربی از نوع خاکی سنگریزه‌ای با هسته نفوذ ناپذیر باریک که کمی به سمت بالا دست تمایل داشته، می‌باشد. این هسته به وسیله دو لایه فیلتر در دو طرف بالادست و پایین دست حفاظت می‌گردد. قسمت خارجی پوسته بالادست بصورت سنگریزه که بوسیله یک لایه سنگ‌چین حفاظت می‌شود. بخش داخلی پوسته بالادست از مصالح شن ریز تشکیل یافته است. پوسته پایین‌دست طبق نقشه‌های طراحی از دوقسمت مصالح در هم متشکل بوده که در کنار فیلترهای پایین‌دست هسته قرار می‌گیرند.

جدول۱ - مشخصات هندسی مقطع نمونه سد

نوع سد	سنگریزه ای با هسته رسی
عرض سد	۲۱۵ متر
طول تاج سد	۷۰۰ کتر
ارتفاع سد از بستر رودخانع	۴۷,۵ متر
حداکثر تراز از سطح دریاچه	۱۳۵۸,۸ متر از سطح دریا
طول دریاچه سد	۱۲ کیلومتر
حجم کل مخزن	۲۳۰ میلیون متر مکعب
سطح دیافراگم پی سد	۴۰۰۰ متر مربع
حجم بدنه سد	۱۰۰۵۰۰۰ متر مکعب

۳- سیستم رفتار نگاری سد مهاباد

سیستم رفتار نگاری سد را کلاً می‌توان به سه بخش تقسیم کرد. بخش اول مربوط به اندازه‌گیری حرکات سطحی سد، بخش دوم مربوط به اندازه‌گیری تغییر شکل‌های داخلی سد است. بخش سوم مربوط به اندازه‌گیری فشار پیزومتری و تراز آب مخزن می‌باشد. برای اندازه‌گیری حرکات سد از سیستم نقشه برداری استفاده می‌شود بدین صورت که چندین نقطه ثابت(BM) با مختصات سازمان نقشه برداری کشور در اطراف سد لحاظ شده و برای کنترل جابجایی یک نقطه، از طریق این نقاط ثابت مختصات محل مزبور به دست می‌آید و آنگاه با مختصات اولیه آن سنجیده می‌شود. به این صورت مقدار جابجایی‌هایی افقی و قائم هر نقطه‌ای قابل اندازه‌گیری خواهد بود.

برای اندازه‌گیری تغییر شکل‌های داخل سد دو لوله نشست سنج در ایستگاه های ۰+۲۲۰ و۰+۳۰۰ در بخش مرکزی پی آبرفتی در پوسته پایین دست سد جهت اندازه‌گیری نشست‌های پی در همان زمان ساخت سد نصب شد. برای این لوله‌ها غلاف در نظر گرفته نشده بود بنابراین به علت اصطکاک آن‌ها با مصالح پوسته پایین دست این نقاط نشست بیشتری نسبت به مقدار واقعی در این نقاط نشان می‌دهند و همچنین به منظور کنترل بهتر حرکات سد چهار شفت نشانه روی تاج هسته تعبیه شد. از این شفت‌ها برای کنترل حرکات عمودی و افقی بالای هسته رسی استفاده می‌شود، و پیزومترهای موجود در سد را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. پیزومترهای قدیمی تقریباً از زمان ساخت سد نصب و تماماً در پایین دست واقع شده‌اند. پیزومترهای جدید در سه مقطع عرضی سد به تعداد حداقل چهار عدد در هر مقطع نصب شده‌اند.

۴- نرم‌افزارهای استفاده شده

در این مقاله از نرم افزار Geo_Slope و GMS استفاده شده است. که این نرم افزار حاوی دو برنامه SIGMA/W و SEEP/W می باشد.

الف : Geo_Slope

یک برنامه المان محدود است که در خصوص آنالیز تغییر شکل پایداری پروژه‌های ژئوتکنیکی مسائل مربوط به خاک و سنگ تدوین

شده است. برای شبیه سازی رفتار غیر خطی و وابسته به زمان مسائل ژئوتکنیکی نیاز به مدل‌های مخصوص است و علاوه بر این‌ها خاک یک مصالح چند فازی است و روش‌های خاصی برای بیان رفتار هیدرواستاتیک و غیر هیدرواستاتیک فشار آب حفره‌ای در خاک مورد نظر است. گرافیک ساده ورودی برنامه کاربر را قادر به ساخت مدل‌های پیچیده المان محدود در زمان کوتاه می‌نماید.

ب: نرم افزار GMS

یک نرم افزار محاسباتی تحلیل تراوش است. این برنامه دارای گرافیک قوی و قدرت بالا در مدل‌سازی دو بعدی و سه بعدی یک منطقه بر اساس گمانه‌های شناسایی زده شده میباشد.

۵- مدل سازی مرحله ساخت سد

نرم افزار Geo_Slope این امکان را در اختیار کاربر می‌گذارد که ساخت سد را شبیه‌سازی کنیم. برای انجام شبیه‌سازی مطابق جدول ۲ سد را به ده بخش تقسیم کرده‌ایم که برای این منظور آنالیز بصورت Load-deormation انتخاب شده‌است.

جدول ۲ - مراحل محاسباتی ساخت سد

زمان انجام(روز)	تراز آب	تراز ساخت سد	شرایط	نوع محاسبه	شماره مرحله
۲۹	۱۳۱۴/۵	۱۳۲۰	Draind	Load-deormation	۱
۲۸	۱۳۱۴/۵	۱۳۲۵	Draind	Load-deormation	۲
۲۲	۱۳۱۴/۵	۱۳۳۰/۵	Draind	Load-deormation	۳
۲۲	۱۳۱۴/۵	۱۳۳۶	Draind	Load-deormation	۴
۱۸	۱۳۱۴/۵	۱۳۴۰	Draind	Load-deormation	۵
۱۷	۱۳۱۴/۵	۱۳۴۶	Draind	Load-deormation	۶
۲۴۹	۱۳۱۴/۵	۱۳۴۶	Draind	Load-deormation	۷
۸۲	۱۳۱۴/۵	۱۳۵۲	Draind	Load-deormation	۸
۹۴	۱۳۱۴/۵	۱۳۶۱/۵	Draind	Load-deormation	۹
۲۵۶	۱۳۱۴/۵	۱۳۶۱/۵	Draind	Load-deormation	۱۰

۶- مدلسازی هندسه سد و شرایط مرزی و شبکه بندی

مقطع بدنه سد بر اساس طرح نهایی مطابق شکل ۱ می‌باشد. همچنین شکل پی سد سد نیز در دست می‌باشد. شبکه‌بندی مدل نیز با قرار دادن یک سری گزینه انتخابی برای کاربر در مورد کیفیت شبکه‌بندی بصورت خودکار انجام می‌شود و در موارد مورد نیاز می‌توان المان‌های یک بخش از مدل را ریزتر نمود. مدل بوسیله المان‌های مستطیلی ۶ گره ای شبکه‌بندی شده است، همچنین بخش هسته به صورت ریزتری شبکه‌بندی شده است. شرایط مرزی که اعمال می‌کنیم محدود کردن جابجایی‌هاست بدین شکل که جابجایی بستر سنگی در کف صفر است و از جابجایی افقی طرفین پی سد نیز جلوگیری شده است.همچنین از طرفین سد حدود ۲۵ متر برای پی اضافه عرض در نظر گرفته شده است تا اثرات سد در طرفین آن نیز مشخص شود.

۷- انتخاب مدل رفتاری مصالح

انتخاب نوع مدل رفتاری متناسب با مصالح از بخش‌های بسیار مهم کار می‌باشد. نرم‌افزار دارای ۸ مدل رفتاری مختلف بوده که برای بخش سنگی پی و دیافراگم از مدل الاستیک خطی(LE)استفاده شده، مصالحی از پی و بدنه که حاوی مصالح ریزدانه هستند و قابلیت نشست درازمدت را دارند به وسیله مدل Modifd_cam_clay(MCC) مدل شده‌اند. در بخش‌هایی که دارای خاصیت نشست دراز مدت نیستند مدل موهر کلمب (MC) استفاده شده است. (بخش‌های فیلتر و خاکریز بالادست و پایین دست سد)

۸- شبیه‌سازی دوره بهره‌برداری سد و شرایط اولیه مدل

در دوره بهره‌برداری سد فقط تغییرات سطح آب دریاچه است که باعث تغییر تنش در سد و در نتیجه تغییر شکل آن می‌شود. برای شبیه سازی این بخش از مسئله چون در زمان آبگیری ما شاهد کاهش تنش موثر هستیم آنالیز پلاستیک زهکشی شده برای آن انتخاب شده است. اما در زمان پایین افتادن تراز آب دریاچه تنش موثر افزایش می‌یابد. بنابراین پدیده تحکیم روی خواهد داد و بایستی آنالیز تحکیم انجام شود. عملیات تسطیح و خاکبرداری پی سد بسیار محدود و در بیشتر موارد نیازی به خاکبرداری نبوده است به همین دلیل از شبیه سازی این بخش صرفنظر شده‌است و فرض شده که سطح پی در تراز ۱۳۱۷ قرار دارد. شرط اولیه دیگر مربوط به سطح آزاد آب می‌باشد. با توجه به تراز آب در گمانه‌ها سطح آزاد آب ۱۳۱۴/۵ فرض شده است.

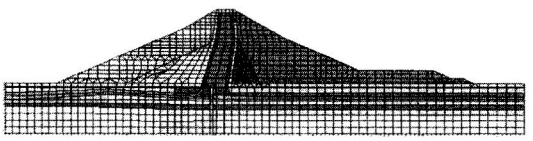
در شکل۲و۳و۴ تغییرات تراز پیزومترهای مقطع سد با تراز آب نشان داده شده است همانطوریکه ملاحظه می کنید داده های این شکل بیانگر وجود هیچ نوع مشکلی نیست فقط نشان دهنده بالا بودن تراز آب زیرزمینی در محل تکیه گاهها می باشد. که با توجه به ثبات وضعیت آن نسبت به تراز آب دریاچه مورد بحرانی برای آن نمی‌توان متصور شد شکلهای۵،۶،۷،۸،۹،۱۰،۱۱،۱۲ تغیرات نشست نقاط روی لبه پایین دست تاج سد و هسته رسی و پی سد توسط نرم افزار نشان داده شده است. در شکل ۱۳ نیز نحوه توزیع تغییر شکل در بدنه سد مطابق نتایج تحلیل ارایه گردیده است. همانطوری که مشاهده می‌شود، بخش قابل توجه حرکات بدنه سد در قسمت بالایی سد روی داده است و سهم بخش‌های پایینی و میانی سد از این حرکات بسیار کم است.

شکل ۱۴ طیف تغییرات تنش کل ، تنش موثر و فشار آب حفره ای در مقطع سد توسط نرم افزار نمایش داده شده است .

۹- مقادیر عددی پارامترهای مورد نیاز مدل

بصورت کلی در تحلیل هر مسئله توسط مدل‌های عددی مهمترین بخش معرفی پارامترهای مدل است و در این قسمت اکثرمقادیر پارامترهای مهندسی فرض شده توسط طراح، مقادیر پارامترهای مربوط به آزمایشات در محل و منابع قرضه و نیز نتایج آزمایشات سال ۱۳۶۷ و پیشنهادات مهاب قدس در جدول۳ارایه گردید.برای آنالیزهای اولیه این مقادیر به صورت میانگین در نظر گرفته شد.آنگاه مطابق روال تمامی آنالیزهای معکوس به صورت سعی و خطا تا انطباق رفتار مدل با واقعیت این عددها تغییر داده شد و بدین شکل پارامترهای مصالح تعیین گردید.

مراحل مختلف تحلیل پی سد نیز در جدول (۴) نشان داده شده‌است. همانطورکه ملاحظه می‌شود حدود (۶۶٪ تا ۵۲٪) نشست

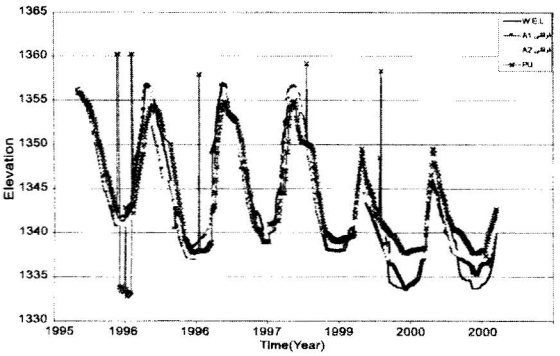


شکل۱ – نحوه شبکه‌بندی و قیدهای جانبی مدل سد مهاباد

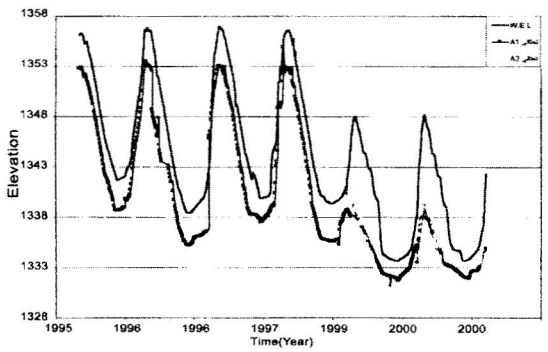
پی تا قبل از آبگیری انجام می‌شود. البته محاسبات با نرم‌افزار Geo_slope عدد ۹۰٪ را نشان می‌دهد با توجه به این عدد مشخص می‌شود که بعد از آبگیری تقریباً فقط نشست تحکیمی ثانویه (Creep) روی داده است.

جدول ۴- خلاصه نتایج تحلیل و اندازه گیری نشست پی سد

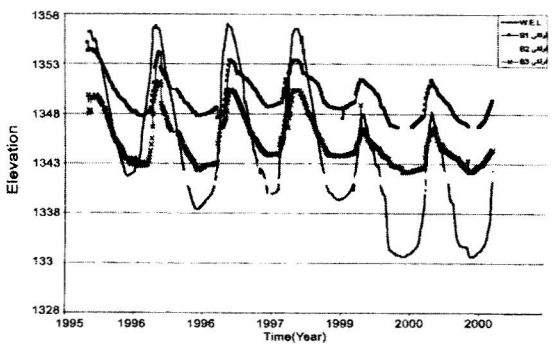
اختلاف تحلیل با مقادیر اندازه گیری شده (٪)	درصد کل نشست محاسبه شده (٪)	میزان نشست محاسبه شده (متر)	درصد کل نشست اندازه گیری شده (٪)	میزان نشست اندازه گیری شده (متر)	زمان سپری شده از آغاز ساخت (روز)
۱۸	۷۱	۰/۶۵	۴۴	۰/۵۵	۲۱۹
۱۰	۷۴	۰/۶۲۵	۵۰	۰/۶۲	۳۸۵
۱۵	۸۰	۰/۷۴	۵۲	۰/۶۴۲	۵۶۱
۸	۸۵	۰/۷۸	۵۸	۰/۷۲	۸۱۷
۰	۸۷	۰/۸	۶۴	۰/۸	۱۱۳۷
۸	۹۲	۰/۸۵	۷۵	۰/۹۳۸	۲۷۸۴
۲۴	۹۹	۰/۹۱	۹۷	۱/۲	۷۶۴۱
۲۴	۱۰۰	۰/۹۲	۹۸	۱/۲۱۷	۱۰۴۹۹
کیلومتر ۰+۲۰۰					
۲۵	۲۸	۰/۴	۱۷	۰/۳۲	۴۹
۱۲	۷۱	۱/۰۱	۴۷	۰/۹	۱۸۱
۱۵	۷۷	۱/۰۹۴	۵۰	۰/۹۵۵	۳۸۵
۸	۸۲	۱/۱۷	۶۶	۱/۲۷	۵۶۱
۱۱	۸۵	۱/۲۲	۷۲	۱/۳۷	۸۱۷
۱۷	۹۰	۱/۲۸	۸۱	۱/۵۴	۱۸۸۹
۲۴	۹۲	۱/۳۱	۹۱	۱/۷۳	۲۷۱۰
۲۶	۹۸	۱/۴	۹۸	۱/۸۸	۷۵۶۷
۲۵	۱۰۰	۱/۴۳	۹۹	۱/۹	۱۰۴۲۵
کیلومتر ۰+۳۰۰					



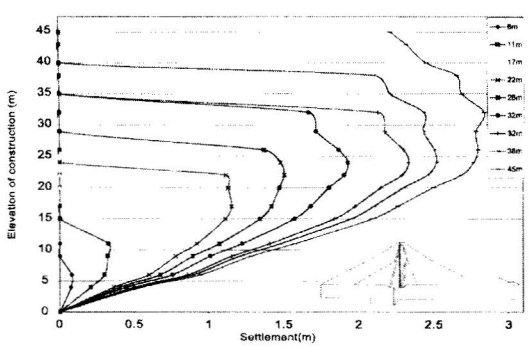
شکل ۲- تراز آب در پیزومترهای سری A



شکل ۳ – تراز آب در پیزومترهای سری Aتحتانی واقع در بالادست سد

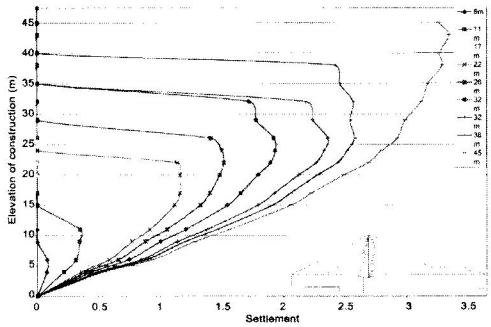


شکل ۴ – تراز آب در پیزومترهای سریB فوقانی واقع در بالادست سد

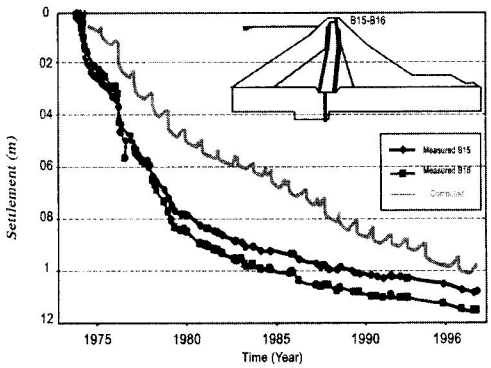


شکل ۵ – پروفیل های محاسبه شده نشست دوره ساخت سد برای مقطع مطابق طراحی اولیه

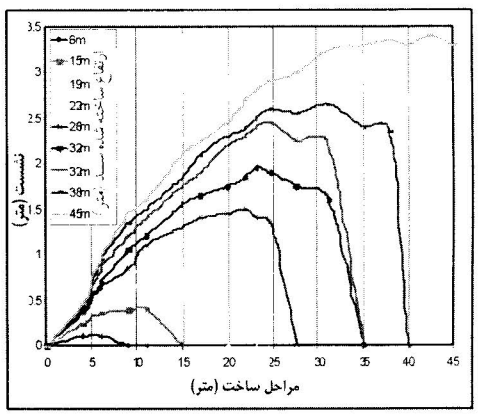
(پوسته پایین دست مصالح شنی با میزان کم ریزدانه)



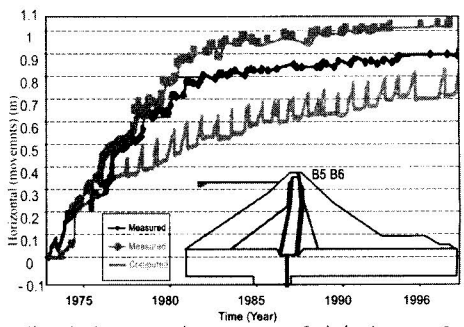
شکل ۶ - پروفیل های محاسبه شده نشست دوره ساخت سد برای مقطع اجراشده (پوسته پایین دست، مصالح دارای رس زیاد)



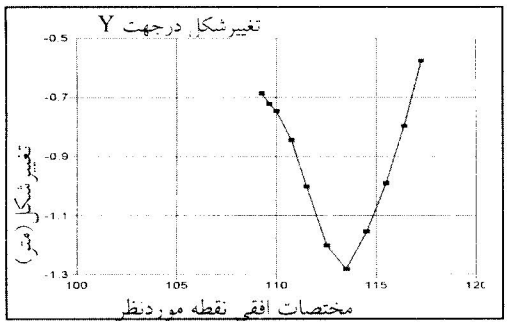
شکل ۷ – منحنی‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شد نشست هسته رسی در کیلومتر ۰+۲۰۰



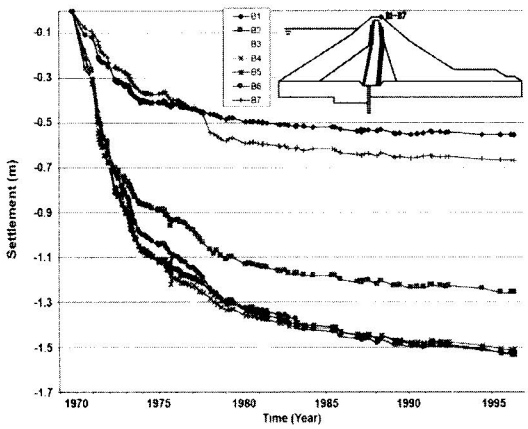
شکل ۸ - منحنی تغییرات نشست پی سد مهاباد در دورههای مختلف ساخت سد



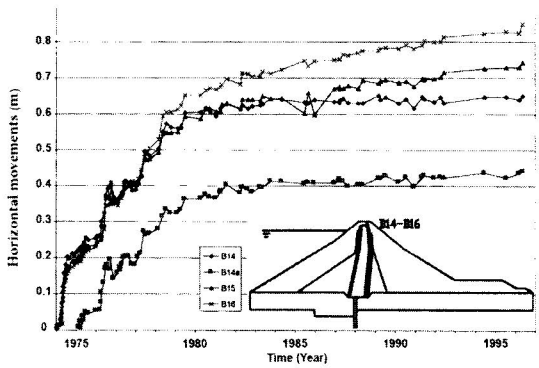
شکل ۹ منحنی‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده جابجایی افقی تاج سد بعد از ساخت در کیلومتر ۰+۳۰۰



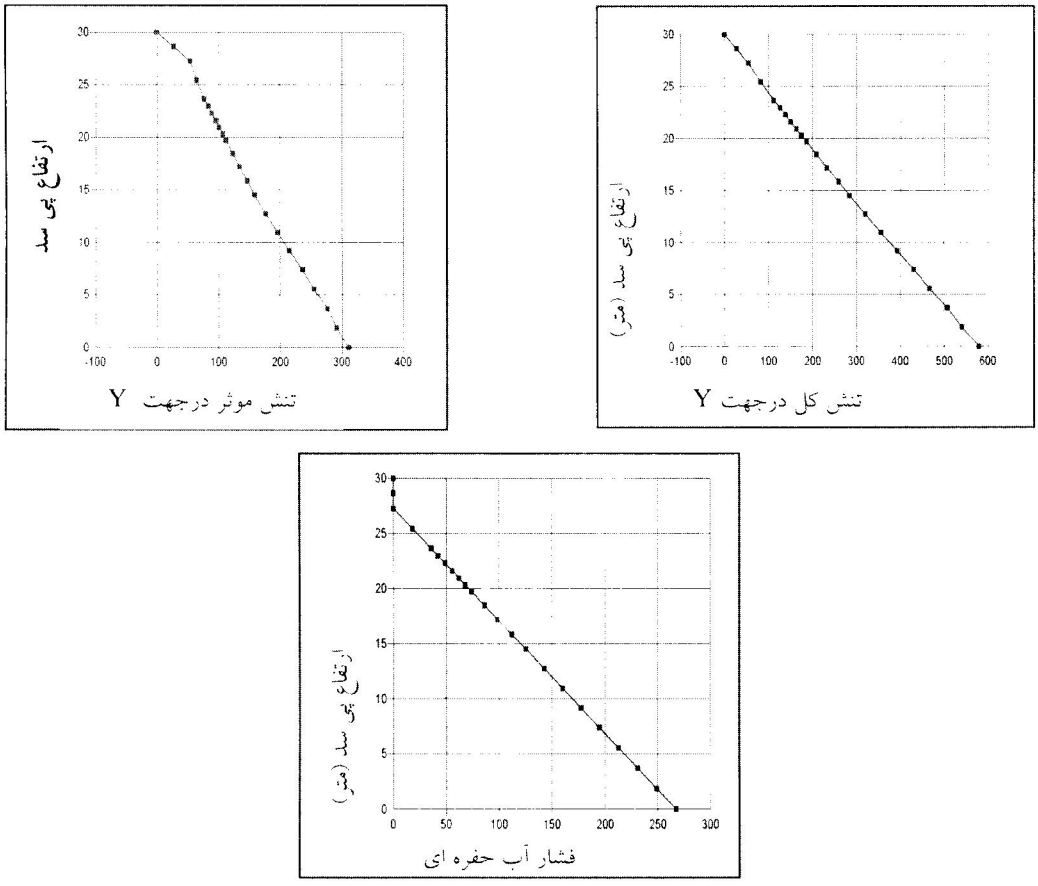
شکل ۱۰- نشست قائم سد در پایان ساخت و قبل از شروع آبگیری



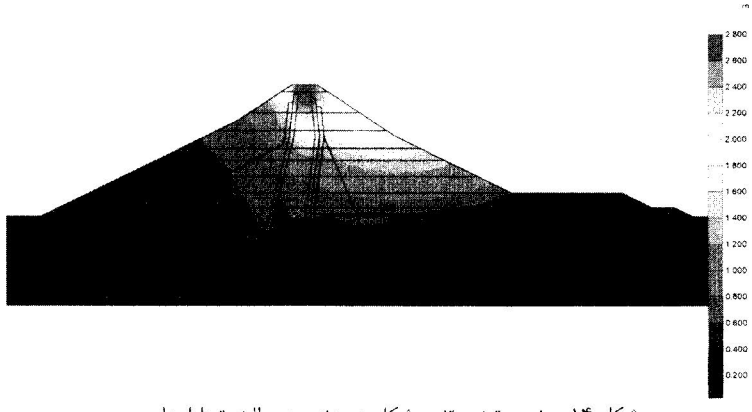
شکل ۱۱ – منحنی‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده نشست تاج سد



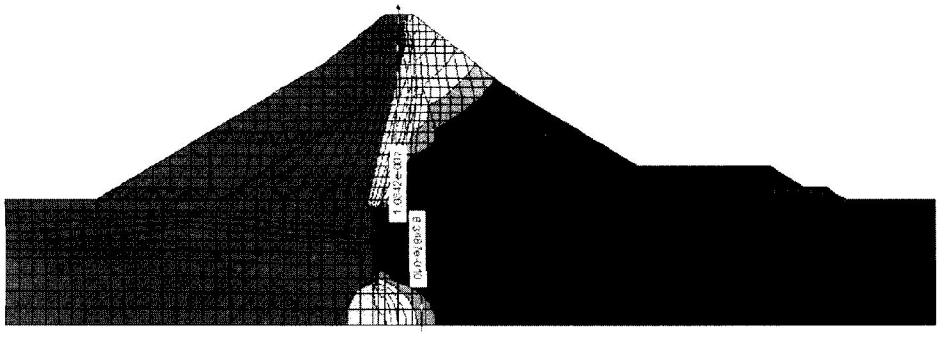
شکل ۱۳ - منحنی‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده جابجایی افقی هسته رسی



شکل ۱۲- تغییرات تنش کل ، تنش موثر وفشارآب حفره ای اولیه درمقطع (۱)



شکل ۱۴ – نحوه توزیع تغییر شکل در بدنه سد مطابق تحلیل‌ها



شکل ۱۵ – میزان تراوش عمودی محاسبه شده از بدنه و پی سد مهاباد

۱۱- نتایج و پیشنهادات:

در این مقاله نتایج زیر حاصل شده‌است:

۱- باتوجه به نتایج تحلیل‌های انجام شده توسط برنامه‌های Plaxis وGeo_Slope و همخوانی آن با نتایج ابزار دقیق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از این برنامه برای آنالیز و پیش‌بینی رفتار سدهای خاکی بسیار مفید خواهد بود.

۲- هسته رسی سد مهاباد از نظر خواص، مصالحی با پلاسیتسیته کم می‌باشد. حد روانی آن ٪۳۲ الی ٪۴۲ و شاخص خمیری آن ٪۱۰ الی ٪۱۸ که در رطوبتی بالاتر از رطوبت بهینه آزمایش پراکتور استاندارد متراکم شده‌است. میزان تراکم به‌دست آمده برای آن کمتر از حد معمول است. (دانسیته خشک حداکثر به دست آمده ۱/۴۷ تا ۱/۷۱ تن بر مترمکعب است).

۳- مطابق نتایج آنالیز میزان تراوش از پی و بدنه سد به ترتیب برابر ۷/۵ و ۴/. سانتیمتر مکعب در دقیقه می‌باشد. این مقدار تراوش اثر بسیار مثبت استفاده از دیوار آببند را خاطر نشان می‌سازد.

۴- میزان نشست و جابجایی در بدنه سد مهاباد، به مراتب بیشتر از استانداردهای طراحی است و از موارد کم‌نظیر در سدسازی به حساب می‌آید. نشست حاصل از خروج Geo_Slope مربوط به فاصله زمانی اتمام ساخت تا سال ۱۳۷۵ دومتروشصت سانتی‌متر و جابجایی افقی (شکل ۵ و شکل ۶)۱۱۰ سانتی‌متر برآورد شده‌است.

۵- در شرایطی که پوسته پایین‌دست بصورت مصالح شنی با درصد کم ریزدانه(میانگین۵ درصد) اجراء گردد(شکل ۵ و شکل ۶) نشست هسته به میزان ۲۲۰ سانتی‌متر خواهد شد ولی در شرایطی که پوسته پایین‌دست بصورت مصالح درهم با درصد بالای ریزدانه (میانگین ۴۵ درصد) باشد ارتفاع نشست در هسته حدود ۳۳۵ سانتی-متر می‌گردد. این امر به‌علت افزایش سختی پوسته‌ها و عدم آزادشدن تنش‌ها می‌باشد.

۶- در سدهای با هسته مرکزی تغییرشکل در هسته و پوسته بالادست تحت مکانیزم‌های متفاوتی روی می‌دهد، بالا آمدن تراز آب مخزن آنچنان تاثیری بر پوسته بالادست ندارد، اما پایین آمدن آب باعث افزایش تنش موثر و در نتیجه ایجاد نشست در آن می‌گردد. مکانیزم اثر تراز مخزن بر هسته پیچیده‌تر است. پایین افتادن تراز آب مخزن باعث کاهش فشار برروی پوسته بالادست هسته و ایجاد حرکت سریع پوسته بالادست در راستای افقی می‌شود و هسته تحت شرایط زهکشی نشده تغییر شکل می‌دهد. پایین آمدن تراز آب باعث تغییر شرایط زهکشی و ایجاد نشست تحکیمی و نشست تحکیم ثانویه در هسته می‌شود.

۷- سدهای ساخته شده برروی لایه‌های ضخیم تحکیم پذیر ممکن است در درازمدت هم نشستهای زیادی داشته باشند، این جابجائی‌ها فقط در ارتفاع آزاد سد تاثیر می‌گذارد و برروی رفتار سد چندان موثر نمی‌باشد.

۸- چنانچه خاک بصورت خشک متراکم شود، دراثر اشباع شدن و فشار بر آن بصورت ناگهانی دچار نشست می‌شود. چنانچه میزان رطوبت در محل را بالا ببریم شرایط آن به زمانی که نشست ناگهانی روی می‌دهد، می‌رسد.

۹- در زمان اجرا جنس مصالح پوسته پایین دست سد مهاباد عوض شده است و به جای شن و ماسه درهم با مقدار کم ریزدانه (حداکثر ۵ درصد) مصالح درهمی که بطور متوسط ۴۵ درصد ریزدا نه دارد استفاده شده است . پوسته پایین‌دست بعلت درصد رس بالا خاصیت پلاستیک و نشست پذیری تحکیمی و ثانویه دارد . همچنین به علت مسائل اجرایی در پوسته پایین‌دست (اشباع شدن و احتمال لغزش) این بخش در رطوبتی کمتر از بهینه متراکم شده و در نتیجه وزن مخصوص‌خشک و میزان تراکم کمی دارد (دانسیته خشک حداکثر بدست آمده ۱/۶۹ تا ۲/۵۰ تن بر متر مکعب و رطوبت ۶ تا ۷ درصد).

۱۰- شکل ۹ نشان می‌دهدکه بخش اعظم جابجائی افقی ایجاد شده در اثر آبگیری بعد از پایین آمدن آب مخزن به خاطر خاصیت الاستیک سد جبران می‌شود.

۱۱- مسئله نشست Collapse مصالح سنگریزه‌ای در سدهای با هسته رسی مرکزی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. سهم این نشست بطور متوسط ۱ درصد کل نشست است، اما برحسب ارتفاع سد و حجم مصالح سنگریزه‌ای ممکن است از ۲ درصد نیز تجاوز کند. میزان نشست Collapse سنگریزه بستگی زیادی به کیفیت و نحوه تراکم آن دارد. استفاده از دانه‌های کوچک برای سنگریزه نقش این نشست را افزایش می‌دهد. نشست‌های مزبور می‌توانند تاسیسات احداث شده برروی تاج سد را خراب کرده و ارتفاع آزاد سد را نیز کم کند و باعث انتقال بار به هسته شوند.

۱۲ - عوامل موثر در نشست‌های زیاد سد مهاباد در رابطه با جنس مصالح پوسته پایین‌دست و کم بودن سختی آن‌ها می‌باشد. هندسه سد نیز (در بخش‌های بالایی تاج سد به شکل غیر اصولی شیب‌ها تند شده‌اند) و تراکم پوسته بالادست کم و تراکم هسته ریزدانه نیز کم است و در نتیجه وقوع نشست‌های تحکیمی زیاد را در بردارد.

۱۳ – بخش اعظم نشست پی قبل از آبگیری به وقوع پیوسته است(۷۵ ٪کل نشست) و بیشتر نشست پی بعد از آبگیری ناشی از تحکیم ثانویه است. با توجه به مقادیر زیاد نشست می‌توان گفت مصالح پی قبل از ساخت، حالت عادی تحکیم یافته داشته‌اند. حداکثر نشست پی ۱۳۰ سانتیمتر محاسبه شده است.

۱۴- برای کنترل بهتر تغییرات تنش کل، فشار آب حفره‌ای اضافی، تنش‌های موثر، حرکات داخلی بدنه، پیشنهاد می‌شود که سیستم رفتار نگاری سد به‌روز گردد.

۱۵- با توجه به کاهش ارتفاع آزاد سد پیشنهاد می‌شود یکی از دو روش زیر برای مسئله مقابله با سیلاب صورت گیرد:

الف) با تحلیل هیدرولیکی و اعمال شرایط جدید سد اهم از رسوب‌گذاری مخزن و ارتفاع موجود هسته رسی، ارتفاع ایمن جدیدی برای آبگیری سد انتخاب شود.

ب) با انجام عملیات جدید ارتفاع سد افزایش داده شود.

۱۶- برای ادامه این تحقیق پیشنهاد می‌شود که روی مسئله ضریب اطمینان‌های کنونی سد برای حالت استاتیک و نیز زلزله تحقیق انجام گیرد. همچنین با توجه به وجود مصالح شن و ماسه در پی سد در صورت تکمیل شدن اطلاعات در پایین دست سد، مسئله پتانسیل روانگرایی سد نیز می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

۱۲- مراجع

[۱] مهاب قدس

[۲] باولز، ج .(Bowles,j) . (۱۳۷۹) . تحلیل و طراحی پی . ترجمه اردشیر اطیابی

[۳] بررسی مدل‌های رفتاری نرم‌افزار Geo_Slope

[4]. Anthiniac p., Bonelli S., Carrere A. & Debordes O.(1998)- Modeling saturarion settlements in rockfill dams – International Symposium on New Trends and Guidelines on Dam Safety, Barcelon, 17-19 th June, 1998

[5]. Bjerrum, L.(1967). Enginerring geology of normally- considerated marine clays as related to settlement of buildings. Journal of Geotechnique, Londin, England, vol(17), No(2), 82-118

[6]. Bregado,D.T,Teerawattanasuk, CYouwai, S.,& Voottipruex ,p (2000)-Finite element modeling of hexagonal wire reinforced embankment on soft clay. Canadian journal of geotech, No(37), 1209- 1226

[7]. Charles, J.A. (1986). The significance of problem and remedial works at British earth dams. Proc of BNCOLD-IWES Conference, Reservoirs 1986, 123-141.

[8]. Dounias, G.t., potts, D.M., &Vaughan, P.R. (1996). Analysis of progressive failure and cracking in old British dams. Jegeotechnique vol(46) , No(7), 621-640

Settlement Analysis Of Embankment Dams with Numerical Analytics Geo_Slope

Kamal Rahmany
Islamic Azad University,Mahabad Branch

Saber Piroty
Islamic Azad University,Mahabad Branch

Arasto Armaghani
Azad Professor,Mahabad University.

Abstract:

The first thing that is vital in the modern embankment dams construction,it is the correct and monitoring of the geotechniqual constructions.From the experimental results in this work is determination of rules that can help us in performing of the future works.Now,it is considered that inverted analysis method is a very useful tool for understanding the behavior of dam in the hand of engineerers.By investigation of data and using inverted analysis,behavioral model of vertical settlement during construction as a fundamental rule for deciding in construction of dams.

In this paper monitoring of Mahabad dams with using acculate tools information and numerical analytic has considered.In performing of numerical analytic,it is used by Geo Slope software package that is a analytic software base on finite element method.

By helping in convey of data and performing inverted analysis,condition of Mahabad embankment dams has analysed.While it is more than thirty years from the dam,in the beginning of the construction of this dam,has considered the unusual settlements and horizontal displacements.As foundation settlement up to ending of performing operation (from 1344 to 1348),has measured 125 cm and during exploitation (from 1349 to 1376),has measured 70 cm.From the time of construction,the maximum settlement and horizontal displacement are measured 140cm and 110 cm respectively.After construction cutoff walls and finishing operation injection in foundation of dam,rate of seepage from foundation is decreased too and according to the numerical calculations in negligible extent is (0.04 centimeter cube in minute) and rate of seepage in body dam is (7.5 centimeter cube in minute) .

Keywords:
Embankment Dam,Unusual Settlement,Exploitation,Seepage