تحلیل پایداری سد خاکی مارون توسط نرم افزار ANSYS و Geo Studio

علی دلوری نژادیان[1]، امیر عباس کمان بدست[*2] و هوشنگ حسونی زاده[3]

1) کارشناس ارشد، گروه عمران-آب، دانشگاه آزاد اسلامی ،واحد شوشتر، ایران.

2) استادیار، گروه مهندسی آب،دانشکده کشاورزی ،دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، ایران.

3) استادیار، گروه مهندسی آب،دانشکده علوم آب،دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شوشتر، ایران.

*** نویسنده مسئول مکاتبات**: ka57_amir@yahoo.com

تاریخ دریافت:90/07/25 **تاریخ پذیرش**:90/10/03

چکیده

از نکات مهم طراحی، آنالیز نشست و تحلیل پایداری است که با کمک نرم افزارهای عددی پیشرفته متوازن قبل یا بعد از احداث به دست می آید. هدف مطالعه حاضر تحلیل سد خاکی توسط نرم‌افزار Ansys 12 در برابر عوامل تأثیرگذار بر پایداری آن صورت گرفته است. سدمورد مطالعه، سدخاکی مارون بود که این سد در 19 کیلومتری شمال بهبهان و بر رودخانه مارون احداث شده است. این سد از نوع خاکی – سنگریزه‌ای می باشد. در این تحقیق سعی شده تا پایداری سد را توسط روش المان محدود با کمک نرم‌افزار Ansys (civil fem) انجام داده و سپس با نتایج نرم‌افزاری همچون Geo-studio مقایسه شود. سپس به بررسی پایداری شیب‌های سد پرداخته شده و با روش‌های مختلف رفتار سد شبیه سازی شده است و نتایج نسبتا یکسان درارتباط با فاکتور ایمنی و محل سطح ناپایدار به دست آمد و فاکتور ایمنی به روش بیشاپ در ansys برای بالا دست سد عدد 4,21 و در geo studio عدد ۴،71 بدست آمد. در پایان با تحلیل تنش و کرنش و جابجایی مقادیر حداکثر و حداقل تنش محاسبه و مناطق دچار نشست و مناطقی که در اثر اختلاف نشست امکان ترک خوردگی در آنها وجود دارد مشخص می شود که در این قسمت هر دو نرم افزار نتایج نسبتا یکسانی ارائه دادند و میزان حداکثر جابجایی قائم در سد 5 تا 6 متر برآورد شده است.

واژه‌های کلیدی: سد خاکی، پایداری ، المان محدود، ansys

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

سدهای خاکی از مصالح خاکی ساخته می‌شوند که خصوصیات و رفتارش با تغییر درصد رطوبت، با تغییر میزان تنش، با تغییر درجه اشباع، با تغییر وضع زهکش و یا تغییر زمان و عوامل دیگر عوض می‌شود. این از عمده‌ترین تمایزهای رفتار سازه‌های خاکی با سازه‌های بتنی و فلزی است. با توجه به تغییرات خصوصیات خاک در تماس با آب و با دانستن این موضوع که سد خاکی با آب و نیروهای مخرب آن در ارتباط است، لذا توجه به پایداری سد خاکی از دیرباز مورد توجه محققین و کارشناسان علم مهندسی سد بوده است. با توجه به موارد ذکر شده و با علم براین موضوع که سدها سازه‌هایی هستند که شکستن و تخریب آنها می‌تواند خسارات مالی و جانی جبران‌ناپذیری به بار آورد، تحلیل استاتیکی و دینامیکی سد خاکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده و در این تحقیق نیز مورد بررسی قرار گرفته است. به کار بردن روش‌های عددی در تحلیل سد خاکی می‌تواند به تعیین دقیق و نزدیک به واقع از میدان تنش و هم چنین تحلیل تراوش و پایداری سد و در نهایت تغییر شکل و نشست سد بپردازد. در گذشته روش‌های عددی بیشتر جنبه نظری داشته و در موارد محدودی مورد استفاده قرار می‌گرفت ولی امروزه با رشد سریع علوم رایانه‌ای، روش‌های عددی هم چون اجزای محدود به شکل فراگیر در علوم مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مطالعه صورت گرفته سعی بر تحلیل سد خاکی توسط روش اجزای محدود و با کمک نرم‌افزار ANSYS شده و هم چنین در هر قسمت از تحلیل نتایج حاصل از این نرم‌افزار را با خروجی‌های بسته نرم‌افزاری Geo Studio که نرم‌افزاری تخصصی جهت کنترل پایداری سازه‌های خاکی می‌باشد، مقایسه می شود و محدودیت‌ها و مزایای استفاده از ANSYS را جهت تحلیل پایداری سد خاکی مورد بررسی قرار داده می شود .مهمترین هدف این تحقیق عبارت است از:1- به کارگیری المان‌های مناسب در مدلسازی به کمک ANSYS و انجام تحلیل توسط این نرم‌افزار 2- مقایسه نرم‌افزار ANSYS و Geo Studio و بررسی برتری‌های هرکدام از نرم‌افزارها بر یکدیگر با توجه به نتایج هر نرم‌افزار و نزدیک به واقعیت بودن هرکدام 3- مشاهده و بررسی نتایج تحلیل و ارائه وضعیت کلی سد مورد نظر به لحاظ پایداری. دانشکده مهندسی هیدرولیک و محیط زیست جنگ جو درچین به تحلیل پایداری و تراوش در سد خاکی هوانگ بی‌ژوانگ در چین پرداخت. با توضیح اینکه طراحی متداول فیلترها به صورت تجربی صورت می‌گیرد و نتایج حاصل از آن برای دانشمندان به اندازه کافی قابل اعتماد نیست، با تطبیق معادلات اساسی و شرایط مرزی در تحلیل حرارتی نرم‌افزار Ansys و با دانستن این موضوع که تکنیک به اشتراک‌گذاری روش‌ها برای محاسبه خط اشباع مورد قبول است، مشکلات پایداری تراوش سد را تحلیل و پیشنهادات مستدل را مطرح می‌کند. تحلیل جریان دوبعدی از سدی خاکی متشکل از دو لایه توسط برنامه Ansys انجام داد که با فرض لایه غیرقابل نفوذ زیر سد، مشخصات تراوش در پایین دست را متأثر از هرگونه تغییر در نسبت نفوذپذیری دو ناحیه تشکیل دهنده سد دانست (Aljairry, 2010). Kartochil در سال 2002 از دانشگاه فنی جمهوری چک به مدل عددی سطح غیر ایستای جریان آزاد در سدهای خاکی پرداخت. او یکی از دلایل عدم موفقیت سدهای خاکی را بی‌ثباتی نیروی تراوش در زمان نفوذ آب در جریان سیل می‌داند. پس از تحلیل نتیجه گرفت، با توجه به شباهت بین تراوش و انتشار گرما، تحلیل هیدرولیکی از طریق Ansys / Thermal ممکن می‌باشد. دکتر خرقانی سعید و امین‌پور محمد در سال 1387 به تحلیل پایداری سد خاکی مارون از طریق نرم‌افزار Geo studio پرداختند. آنها تخمین شبکه جریان را در حالت پایدار و گذرا ، ضرایب اطمینان پایداری شیروانی‌ها را در حالت تراوش پایدار و پس از تخلیه سریع مخزن و مقدار کمترین ضریب برای بحرانی‌ترین سطح گسیختگی در حالات استاتیکی و دینامیکی، از نظر معیارهای فنی

Archive of SID

www.SID.ir

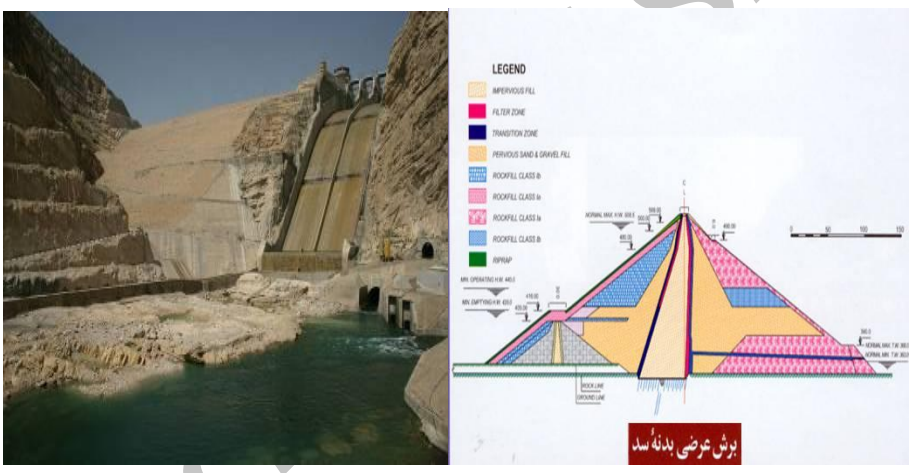
بررسی کردند. در پایان با بررسی رفتار دینامیکی سد مارون را در مقابل زلزله مبنای طرح و زلزله حداکثر محتمل مورد تحلیل قرار دادند امین پور و همکاران، 1387 .

مواد و روش‌ها

بررسی حوضه آبریز رودخانه مارون

موقعیت سد

موقعیت جغرافیایی سد مارون در استان خوزستان و در 19 کیلومتری شمال شرق بهبهان و بر روی رودخانه مارون می‌باشد. محل احداث سد در تنگ تکاب کوههای زاگرس و یال شرقی طاقدیس خاویز که از جنس سنگ آهک آسماری است قرار دارد. رودخانه مارون مسیر خود را در لایه‌های شیل و مارن در سنگ آهک آسماری باز کرده و تنگه‌ای به طول 8 کیلومتر را بوجود آورده است. سازند موجود در محل سد، آسماری می‌باشد.



شکل 1: سد مارون و مقطع تیپ سد مارون

فاصله سد مارون تا اهواز 220 کیلومتر می‌باشد و نزدیک ترین شهر به سد بهبهان با 19 کیلومتر و نزدیک ترین روستا تنگ تکاب با 4 کیلومتر فاصله می‌باشد. سد مارون در عرض جغرافیایی 30^0 40´ و طول جغرافیایی 50^0 21´ قرار دارد. سد و مقطع تیپ آن در شکل1 آمده است.

معرفی نرم‌افزار

روش اجزاء محدود یکی از متداول ترین و پرکاربردترین روش‌های تحلیل در علوم مهندسی به شمار می‌آید از آنجا که نرم‌افزار ANSYS به عنوان یکی از مهم ترین نرم‌افزارهای موجود در زمینه اجزاء محدود می‌باشد. لذا تصمیم گرفته شد که این نرم‌افزار را با یک نرم‌افزار دیگر که در زمینه تحلیل پایداری سدخاکی نرم‌افزاری تخصصی به حساب می‌آید مقایسه شود. نرم‌افزار Geo Studio که نرم‌افزاری

www.SID.ir

تخصصی می‌باشد نیز برای تحلیل از روش المان محدود استفاده می‌کند و تنها در بخش Slope-w در این برنامه از روش‌های ترسیمی معمول استفاده می‌شود. در این تحقیق در نسخه 12 نرم‌افزار Ansys و نسخه 2004 نرم‌افزار Geo Stusio استفاده شده است.

روش تحلیل پایداری شیب‌ها

تحلیل شیب‌ها از دو روش-روش تعادل حدی مانند روش بیشاپ و جانبوو-روش المان محدود،روش تعادل حدی: از طریق ترسیم سطوح لغزش بلقوه و از نسبت نیروهای مقاوم به لغزش مانند مقاومت برشی مصالح به نیروهای محرک مانند وزن توده و نیروی نشت آب، فاکتور ایمنی به دست آمده که هر سطحی کم ترین ضریب را داشته باشد، سطح بحرانی است. روش تعادل حدی از دو طریق: تعادل گشتاور برای قطعه مورد نظر مانند بیشاپ و فلنیوس وتعادل نیرو مانند روش جانبو

سطح بحرانی در روش بیشاپ به صورت دایره و در روش جانبو چند ضلعی است. روش فلنیوس که سطح لغزش دایره ای به چند قطعه تقسیم میشود و ضریب ایمنی 5 تا 20 درصد بیشتر محاسبه میشود،روش بیشاپ مانند: روش قبل ولی تعادل نیرو درجهت قائم نیز در نظر گرفته می شود. میزان خطا0 تا 8 درصد نسبت به روش‌های پیشرفته که سه معادله تعادل را لحاظ می کنند. روشهای تعادل حدی تنش و تغییر شکل را تحلیل نمی کنند. ولی روش المان محدود این قابلیت را داشته و علاوه بر محاسبات نشست و ترک‌ها ضریب ایمنی را با دقت تعیین می کند.

تحلیل تنش و جابجایی در بدنه سد

در تحلیل مربوط به تنش‌های ایجاد شده در سدهای خاکی عوامل زیادی باید در نظر گرفته شود. علاوه بر خصوصیات مکانیکی مصالح، شرایط ایجاد فشار آب نیز باید بدرستی تعریف گردد. به عنوان مثال برای تحلیل در زمان ساخت سد، باید تعداد مراحل خاک ریزی با توجه به زمان اجرا برای برآورد درست از فشار آب منفذی معرفی شود. در این تحقیق برای انجام سریع تر تحلیل بعضی شرایط مطرح می شود، از جمله فرض رفتار الاستیک خطی مصالح و بارگذاری که در یک مرحله انجام می شود. تمامی فرضیات و شرایط اعمالی در هر دو نرم افزار مانند شرایط مرزی و بارهای اعمال شده درتحلیل یکسان در نظر گرفته شده است. برای تحلیل تنش و کرنش در بدنه سدهای خاکی می بایست از قسمت sigma/w در نرم افزار مدل را شبیه سازی کرد.

نتایج تحلیل

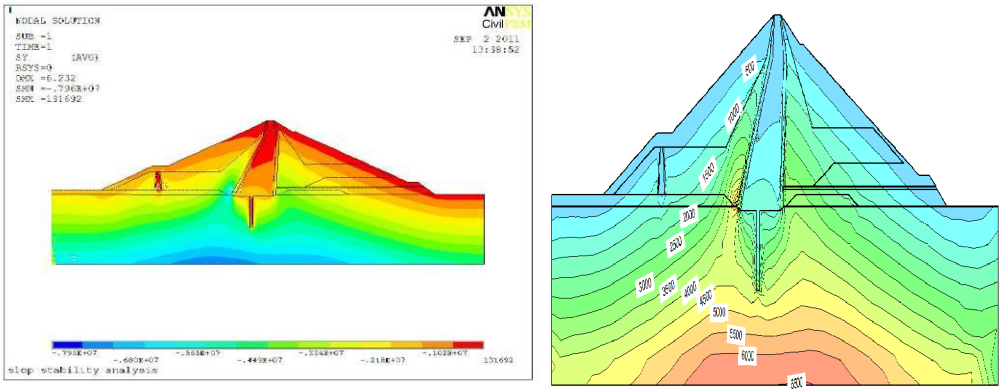
بر اساس تحلیل انجام شده در هر بخش می توان مقادیر خروجی هر دو نرم افزار را با یکدیگر در شرایط نسبتا برابر مقایسه کرده و در پایان بر اساس مقادیر توصیه شده در طراحی نتیجه را درارتباط با پایداری سد ارائه داده و درباره مشکلات و کمبودها پیشنهاداتی ارائه شود.

توزیع تنش‌ها

Archive of SID

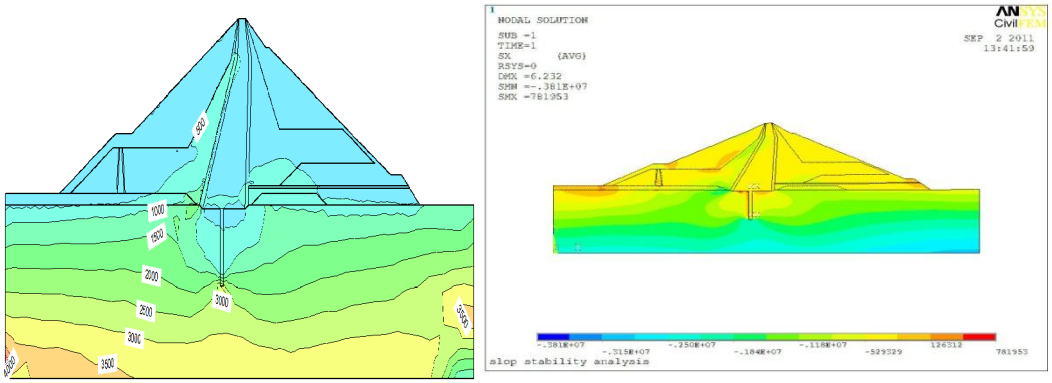
www.SID.ir

مهم ترین پارامتر در تشخیص ایجاد ترک و احتمال پدید آمدن شکست هیدرولیکی، تحلیل تنش و کرنش در مقطع سد می باشد. در شکل‌های زیر تنش و کرنش افقی در سد توسط هر دو نرم افزار مشاهده می شود. (شکل 2)



شکل 2: توزیع تنش قائم در ansys وgeo studio

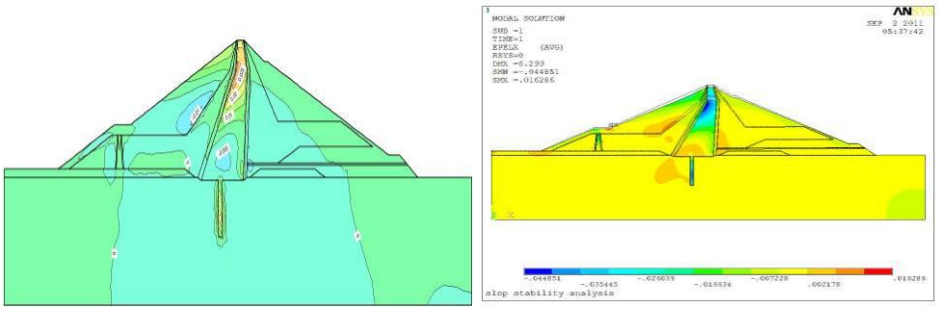
تغییرات شدید تنش در اطراف هسته امکان وجود قوس زدگی (نشست ناحیه نرم و انتقال بار به ناحیه سخت) را نشان می دهد (شکل 2). در هر دو نرم افزار تغییرات تنش به صورت ناچیز در اطراف پرده آب بند و 1/3 بالایی ارتفاع هسته رسی مشهود است (شکل3).



شکل 3: توزیع تنش افقی در ansys وgeo studio

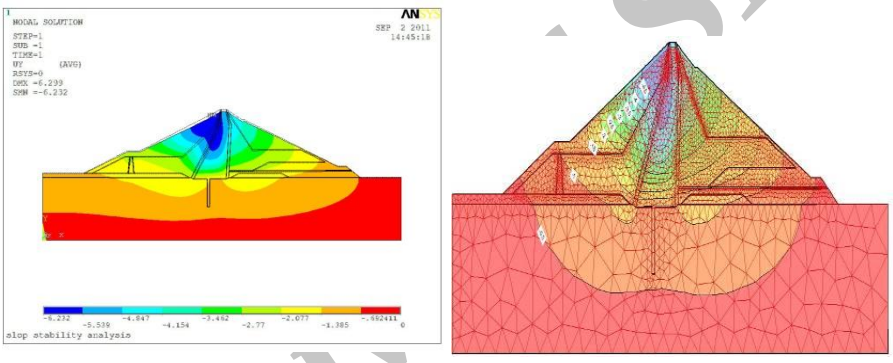
همان طور که در توزیع تنش افقی دیده شد، در همان دو محل گفته شده حداکثر کرنش‌ها بوجود آمده است. این مناطق از نظر ایجاد ترک باید بیش تر مورد بازبینی قرار گیرند (شکل 4).

www.SID.ir



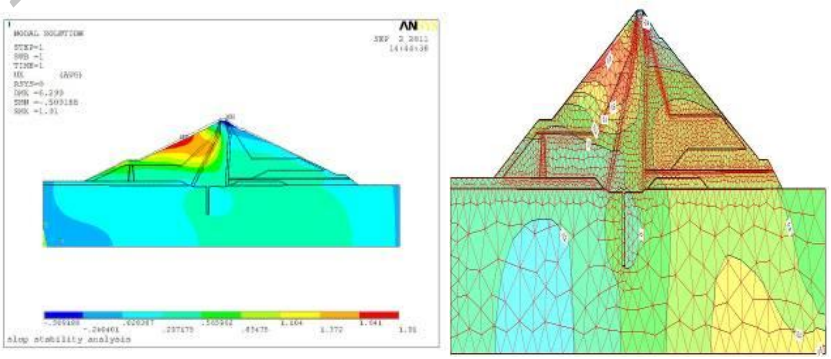
شکل 4: کرنش افقی در Geo Studio و Ansys

جابجایی در راستای قائم زیاد است و می تواند ناشی از محدودیت مدل ایجاد شده ، باشدبا این حال می توان با توجه به محل حداکثر جابجایی نتیجه گرفت که، نشست در هسته عامل این جابجایی در راستای قائم بوده است (شکل 5).



شکل 5: جابجایی در راستای قائم ansys و Geo Studio

مقادیر جابجایی افقی کمتر از قائم می باشد ولی تقریبا در همان محل رخ داده است. این محل مشابه با محل ایجاد حداکثر کرنش افقی است که احتمال بوجود آمدن ترک در آن بیشتر از سایر نقاط است شکل 6بر اساس نتایج به دست آمده مقادیر حداکثر و حداقل تنش و کرنش و جابجایی به قرار زیر است: (جدول1)و (اشکال 7 تا 8).

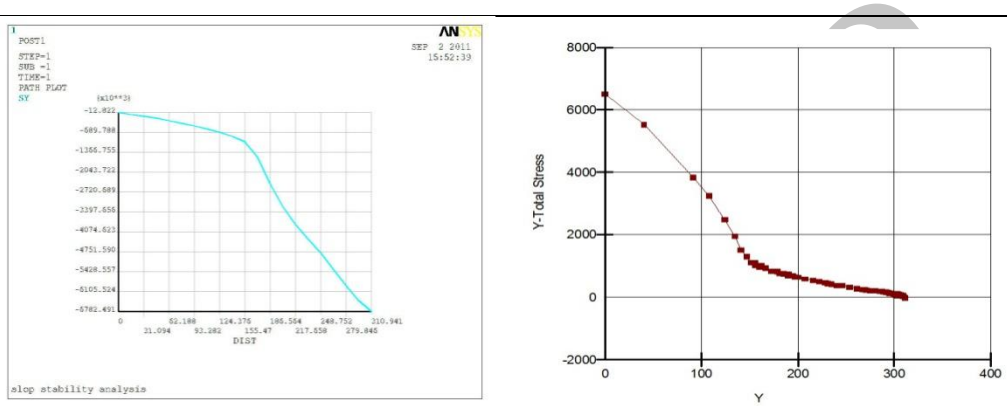


شکل 6: جابجایی در راستای افقی geo studio و Ansys

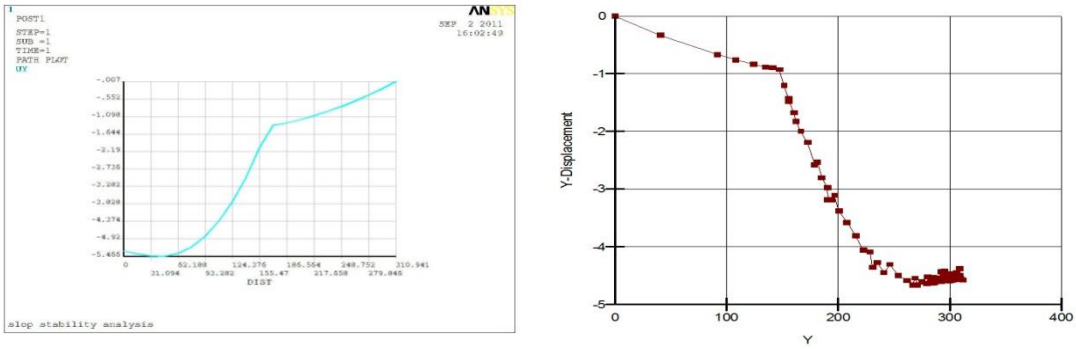
www.SID.ir

جدول1

	افقی				قائم			
	حداکثر		حداقل		حداکثر		حداقل	
	تنش kpa	کرنش	جابجایی m	تنش kpa	کرنش	جابجایی m	تنش kpa	کرنش	جابجایی m
ansys	3810	0/044	1/91	781/95	0/01	0/51	7960	0/11	6/2	132	0/005	0/69
Geo studio	4000	0/025	0/8	500	0/01	0/2	6500	0/07	4/5	500	0/005	0/5



شکل7: تنش کل قائم در geo studio وansys



شکل 8: جابجایی قائم در geo studioوansys

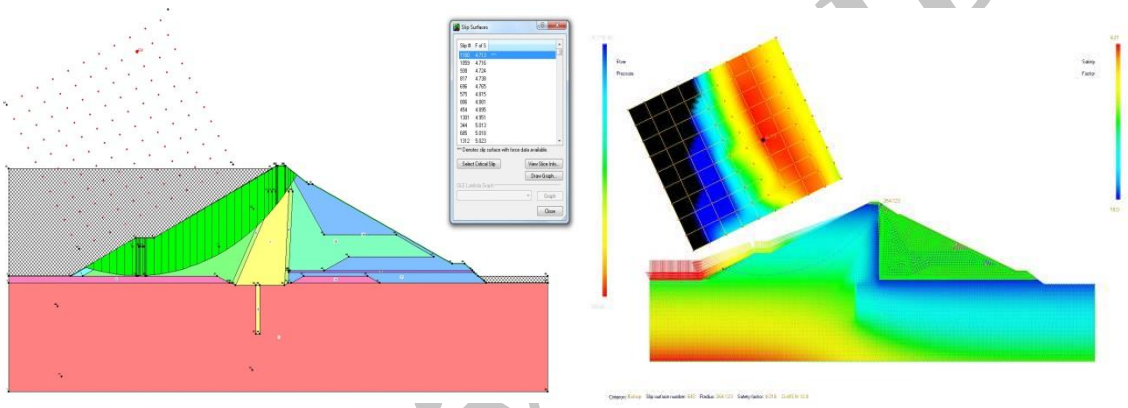
طبق نتایج حاصل از دو نرم افزار، مشاهده شد که نتایج نسبتا به هم نزدیک بوده و توزیع مکانی آنها در مقطع سد تشابه خوبی با هم دارند. به عنوان مثال در گره‌های مشابه میزان اختلاف تنش حداکثر 4 درصد اختلاف مشاهده می شود. ولی می توان اختلاف‌های جزئی را نیز مشاهده کرد. با توجه به این که مدل سازی به روش یک مرحله و ساده صورت گرفته و از تنش‌ها و تغییر شکل‌های قبل از ساخت و بهره برداری نتیجه ای به دست نیاورده ایم، لذا نتایج جابجایی در این تحقیق فقط شرایط کلی را از حالت‌های بوجود آمده یا احتمالی به دست

www.SID.ir

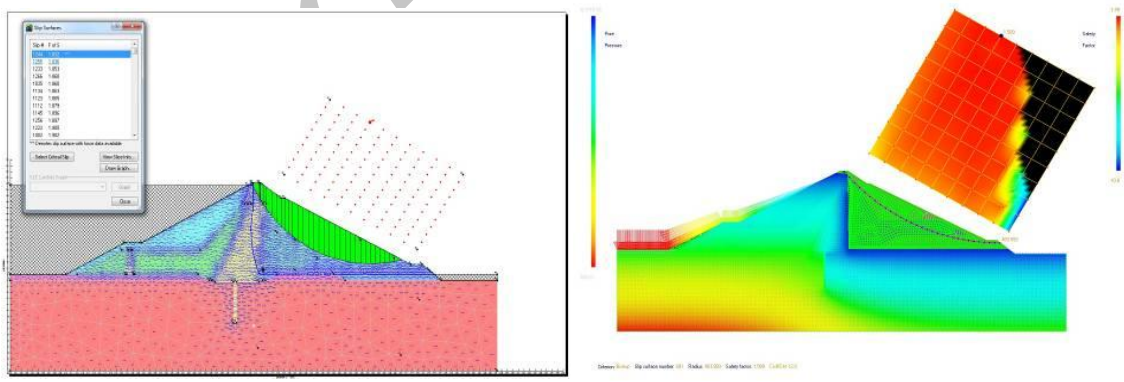
می دهد. بیش ترین محل جابجایی افقی و قائم همان گونه که مشاهده شد در بالادست سد و در ارتفاع 1/3 بالایی رخ می دهد که میتواند ناشی از نشست هسته رسی همان گونه که در قسمت قبل گفته شد اتفاق افتاده باشد. مقدار جابجایی قائم در ansys حدود 6 متر و در geo studio حدود 5 متر براورد شده که مقدار زیادی به دست آمده و می تواند ناشی از در نظر نگرفتن حالت‌ها و نشست‌های پیش از ساخت باشد.

تحلیل پایداری شیب‌ها

سطح بحرانی ترسیم شده و ضریب اطمینان در بالا دست و پایین دست سد در هر دو نرم افزار تا حدود زیادی تشابه دارد. اشکال 9و10در این قسمت فقط نتایج تحلیل به روش بیشاپ در حالت نشت پایدار برای مقایسه ارائه می شود.



شکل 9: سطح بحرانی به روش بیشاپ در بالا دست(ansys , geostudio)



شکل 10: سطح بحرانی به روش بیشاپ در پایین دست(ansys , geo studio)

هم چنین درجدول 2ضریب ایمنی مشخص شده است.

www.SID.ir

جدول2: ضریب ایمنی در روش بیشاپ

ضریب ایمنی در روش بیشاپ	بالا دست	پایین دست
Ansys	4,21	1,59
Geo studio	۴،71	1,8

همان طور که مشخص می باشداختلاف نتایج در حدود 10 درصد میباشد که در Geo Studio مقدار فاکتور ایمنی بیشتر محاسبه شده است. با این حال ضرایب به دست آمده نشان از پایداری کاملا مناسب در بالا دست همچنان که در حالت تراوش پایدار انتظار می رفت، به دست آمده است. در پایین دست با توجه به بیش ترین نشت صورت گرفته در حالت مخزن پر و شرایط بحرانی برای پایین دست، مقدار فاکتور ایمنی کمتر برآورد شده است. در هر حال می توان نسبت به نتایج Ansys در سال 2009 با توجه به تشابه مقادیر خروجی در این قسمت و توزیع مکانی سطح برش بحرانی با نرم افزار Geo Studio اطمینان کرد.

نتیجه گیری

1- در وضعیت تنش و کرنش سد مورد نظر هر دو نرم افزار یکسان عمل کرده و میزان حداکثر تنش قائم حدود 7000 کیلو پاسکال که همان طور که انتظار میرفت در کف پی اعمال شده است. تغییرات شدید تنش در اطراف هسته رسی احتمال بروز قوس زدگی در این محل و نشست لایه رسی را پیش بینی می کند. حداکثر جابجایی قائم در هر دو نرم افزار در یک محل و در بالای شیب بالا دست هسته رسی میباشد که ممکن است به علت نشست هسته صورت پذیرفته باشد. مقدار جابجایی قائم در ansys، 6 متر و در geo studio، 5 متر می باشد.

2- سطح بحرانی ترسیم شده در هنگام تحلیل پایداری شیب‌های سد در هر دو نرم افزاریکسان است. فاکتور ایمنی برای شیب بالا دست توسط Ansys، 4,21 و توسط Geo Studio، 4,71 محاسبه شده است. برای شیب پایین دست فاکتور ایمنی به ترتیب 1,59 و 1,8 در Ansys و Geo Studio برآورد شده است که با توجه به حداکثر مقدار نشت در این زمان کاملا طبیعی می باشد. در هر صورت مقادیر به دست آمده نشان از پایداری کامل سد در هر دو شیب بالا دست و پایین دست می باشد و تشابه خروجی هر دو نرم افزار تایید کننده این مطلب است.

3-به طور خلاصه می توان گفت که سد به لحاظ پایداری در شرایط مناسبی است که این مسئله توسط هر دو نرم افزار تایید می شود. تنها مواردی چون جابجایی قائم در سد که چنان چه ذکر شد به علت محدودیت‌های اعمالی در زمان تحلیل این نتیجه به دست آمد. مسئله دیگر نشست در هسته رسی است که تا کنون تاثیری بر عدم پایداری سد نداشته است. دیگر پارامترها از قبیل تراوش، فشار آب حفره ای، پایداری شیروانی، نشست در بالا دست و پایین دست سد در حالت نشت پایدار، شرایط مناسبی را دارا می باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

- **امین پور،م.و خرقانی،س.** (1387). بازتحلیل پایداری شیب،جریان نشت و رفتار دینامیکی سد مارون هنگام زلزله با استفاده از بسته نرم افزاری GeoStudio،دومین کنفرانس ملی سد ونیروگاههای برقابی.

-**Aljairry,H. (2010**). 2D-Flow Analysis Through Zoned Earth Dam Using Finite Element Approach,Eng and Tech. journal,No.21.

-**ANSYS,Inc.Ansys Guide Release 12.0.1. (2009).** SAS IP ,Inc.

-**Kratochvil, J. (2002).** Numerical modeling of Nonstationary Free Surface Flow in Embankment Dams, Brno University of Technology CZ.

Reservoir based on ANSYS/APDL, Wang Zong-ming

Archive of SID

www.SID.ir