ارزیابی نشت و تحلیل نیروها در سد خاکی جره توسط نرم افزار انسیس

وحید جباری[1*]، امیرعباس کمان بدست[2]، امین بردبار[3]
1- دانشجوی ارشد سازه‌های آبی، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران
2و3- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران

چکیده

این تحقیق پایداری سد خاکی جره را از روش المان محدود توسط نرم افزار انسیس بررسی شد و در ابتدا سد را به‌روش تحلیل حرارتی تراوش در بدنه سد بررسی و مقدار نشت در روز 450 میلی لیتر برثانیه برآورد شد که در حد نرمال بوده است. مقدار حداقل فاکتور ایمنی از روش بیشاب برای بالادست F=1/31 و برای پائین دست F=1/94 بدست آمد. در تحلیل تنش و کرنش، مقادیر حداکثر و حداقل تنش جابجایی نتایج در حد نرمال بوده و مقدار حداکثر جابجایی قائم در سد 0/7 تا 1/5 متر برآورد شده است.

واژه‌های کلیدی : نشت، انسیس[1]، پایداری، سد خاکی، المان محدود

مقدمه

کشور ما جز و مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌شود و با محدودیت منابع آب مواجه هستیم. حداکثر منابع آب تجدید شونده کشور 131 میلیارد مترمکعب در سال برآورد شده است که در حال حاضر 10 میلیارد مترمکعب آن استحصال می گردد. از این مقدار فقط 5 میلیارد مترمکعب در خدمت شرب و بهداشت مصرف می‌شود و قسمت عمده آن یعنی حدود 55 میلیارد مترمکعب در سال در بخش کشاورزی برای تولید محصولات مختلف مصرف می‌گردد. بررسی وضعیت سدها به دلایل مختلف در میان سازه‌های ساخته شده بدست بشر، از جمله اهمیت ساخت آن، و شدت و حساسیت خطرات و صدمات ناشی از خرابی احتمالی آنها از موقعیت منحصر بفردی برخوردار هستند. هزینه‌های نسبتا بالای ساخت، تنوع و پیچیدگی عوامل دخیل در طرح و بررسی سدها و نیاز به افزایش روز افزون ارتفاع باعث گردیده تا ضمن در نظر گرفتن ضرایب اطمینان کافی، توسعه‌های فزاینده‌ای در روشهای طرح و اجرا بخصوص در دهه گذشته صورت پذیرد.

توزیع خاک در داخل هسته باید طوری باشد که ضریب هدایت هیدرولیکی و درشتی و ناهمگنی خاک به سمت شیب بیرونی افزایش یابد. ضریب هدایت هیدرولیکی این مصالح $10^{-6}cm^3/sec$، بیشتر نمی‌باشد ناحیه نفوذ ناپذیر هسته مانع از عبور آب از سد می‌شود. بارهای وارده به سدها را می‌توان به سه گروه کلی اصلی، ثانویه و استثنایی تقسیم نمود. بارهای اصلی، بارهایی می‌باشند که بیشترین اهمیت را در تمامی سدها شامل می‌شوند. بارهای ثانویه به بارهایی گفته می‌شود که دارای اهمیت کمتری بوده و تنها در برخی موارد می‌تواند پر اهمیت گردد و در انتها بارهای استثنایی، احتمال وقوع کمتری برای اعمال این نوع بارها وجود دارد.

تنشهای داخلی افقی و قائم در هسته سد در هر نقطه‌ای باید از فشار هیدرواستاتیک در آن نقطه بیشتر باشد در غیر این‌صورت خطر پدیده شکست هیدرولیکی افزایش می‌یابد، وضعیت نشتها و نیز آسیب پذیری هسته یا پایداری آن تابعی از توزیع همین تنشها است، در قسمت پایینی هسته به علت وجود عرض بیشتر و رطوبت بیشتر شرایط برای تنشهای افقی و قائم زیاد مساعد است ولی در بخشهای بالایی به

1- Ansys

تدریج عوامل موثر در کاهش تنشها قویتر شده و مقاومت اصطکاکی جدار بین هسته و پوسته موجب تعلیق یا قوس شدگی هسته سد می-شوند. بررسی وضعیت سدها به‌دلایل مختلف در میان سازه‌های ساخته شده بدست بشر، از جمله اهمیت ساخت آن شدت و حساسیت خطرات و صدمات ناشی از خرابی احتمالی آنها از موقعیت منحصر بفردی برخوردار هستند.

بدنه اصلی یک سد خاکی از مصالح بدون ملات مثل لاشه سنگ، قلوه سنگ، شن، ماسه، لای و رس ساخته می‌شوند. بنابراین ویژگی کلی این سدها یکپارچه نبودن بدنه اصلی سد است. این بدنه غیر یکپارچه و بدون ملات محیط مناسبی برای نشت آب می‌باشد. نشت یکی از مسائل مهم در پایداری و عملکرد سدهای خاکی است و برای جلوگیری از نشت و تلفات آب باید تدابیر لازم اتخاذ گردد. در این تحقیق تحلیل سد خاکی جره توسط روش اجزای محدود و با کمک نرم افزار انسیس 15 انجام شده و همچنین در هر قسمت از تحلیل نشت و تاثیر نیروها نتایج حاصل از این نرم افزار که تخصصی جهت کنترل پایداری سازه‌های خاکی می‌باشد که اهداف این تحقیق شامل:

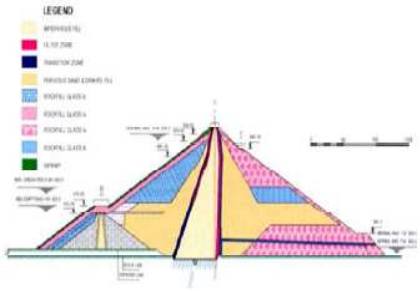
1- شناخت سدهای خاکی و شرایط حاکم بر نشت آنها
2- روش‌های تحلیل پایداری و نشت سدهای خاکی به خصوص ارائه مفاهیم روش‌های عددی المان محدود
3- بکارگیری المانهای محدود مناسب در مدل سازی سد خاکی جره به‌کمک انسیس و انجام تحلیل توسط این نرم افزار
4- مشاهده و بررسی نتایج تجربه و تحلیل نیروها و ارائه وضعیت کلی سد مورد نظر به لحاظ پایداری

تحلیل پایداری براساس بررسی تعادل نیروها در سطح برشی که در آن خرابی ایجاد می‌شود استوار بوده پس تنش برشی ایجاد شده بیش از مقاومت برشی است در نتیجه کل جرم بر روی آن سطح لغزشی حرکت خواهد کرد. خرابی ممکن است در اثر مسائل دیگری غیر از لغزش مانند تغییر مکانهای شدید یا روانگرایی نیز ایجاد گردد. مهمترین عامل در کنترل دقت روش تحلیل پایداری سطح شیب‌دار، تخمین صحیح پارامترهای مقاومت برشی خاک و تغییرات آنها می‌باشد [1].

مواد و روشها

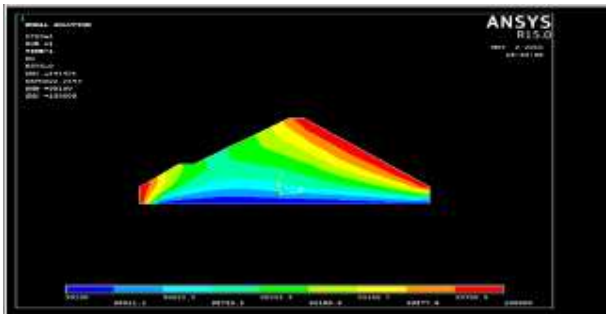
سد جره بر روی رودخانه زرد از سرشاخه‌های اصلی تشکیل دهنده رودخانه جراحی احداث شده شکل (1) و پلان عرضی سد مخزنی جره، شکل (2) به فاصله 99 کیلومتری از اهواز و 33 کیلومتری شمال شرقی شهرستان رامهرمز و در نزدیکی روستای جره، احداث شده است.

شکل(1) نمای سد جره



شکل(2) مقطع عرضی سد

روش اجزاء محدود یکی از متداولترین و پرکاربردترین روش‌های تحلیل در علوم مهندسی به شمار می‌آید و از آنجا که نرم افزار انسیس به عنوان یکی از مهمترین نرم افزارهای موجود در زمینه المان محدود می‌باشد، در روش اجزای محدود مدل مورد بررسی به المانهای ریزی تقسیم شده و معادلات برای این المانها بر اساس توابع شکلی تعریف و حل می‌شود. در روش اول مدل به المانهای گسسته برای تعیین جابجایی‌ها و نیروهای اعضاء در یک آنالیز سازه‌ای تقسیم می‌شود و بعد از المانهای پیوسته برای بدست آوردن حل تقریبی مسائل انتقال حرارت مکانیک سیالات و مکانیک جامدات استفاده می‌شود. تحلیل تراوش در انسیس هم به دو روش انجام شد. کلیات هر دو روش کاملاً یکسان بوده ولی در روش اول از طریق نرم افزار انسیس و با استفاده از تشابه تحلیل حرارتی و تراوش شکل (3) استفاده شد.



شکل(3) خروجی تحلیل نشت در کل سد توسط نرم افزار انسیس

در روش دوم از طریق منوی (سی‌ول‌فم) انسیس استفاده می‌شود. طبق قانون بقای جرم و قانون دارسی مدل عددی تراوش به‌قرار زیر است:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(Kx\frac{\partial p}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}(ky\frac{\partial p}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(kz\frac{\partial p}{\partial z})+q=\mu s\frac{\partial p}{\partial t} \qquad (1)$$

که kx ,ky ,kz ضرایب نفوذپذیری در جهت‌های x, y, z هستند، p برابر با هد سیال و μs ظرفیت ذخیره سازی مخزن و q برای حالت چاه چشمه در نظر گرفته شده است.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(Kx\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}(ky\frac{\partial T}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(kz\frac{\partial T}{\partial z})+PQ=Pc\frac{\partial T}{\partial t} \qquad (2)$$

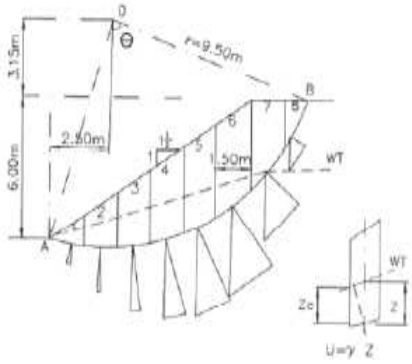
که T برابر با دما و p چگالی ماده و C گرمای ویژه kx ,ky ,kz هدایت گرمایی در جهتهای x, y, z, Q چگالی منبع گرمایی می‌باشد. از مقایسه دو رابطه بالا می‌توان جابجایی پارامترها را انجام داد برای مثال هدسیال (P) به‌جای دما (T) و یا ضرایب نفوذپذیری مشابه ضرایب هدایت گرمایی هستند و ظرفیت ذخیره سازی μs به جای pc و q مکان مشابهی همانند چگالی منبع حرارتی (Q) دارد پس معادلات بالا کاملاً می‌توانند با یکدیگر جابجا شوند. پس به‌طور خلاصه می‌توان گفت که آنالیز حرارتی به حل معادله لاپلاس می‌پردازد و باجاگذاری پارامترها می‌توان به تحلیل نشت پرداخت.

پایداری در هر دو شیروانی بالادست و پایین‌دست به‌علت عدم تقارن مقطع سد [2] حول محور و وجود هسته ضخیم مایل در بالا دست شیروانی در وضع ناپایدارتری بوده که کنترل پایداری از طریق دو روش زیر بررسی می شود:

1- روش تعادل حدی مانند روش بیشاپ ساده، جامبو، اسقف و فلینوس

2- روش‌های عددی و اختصاصاً روش المان‌ای محدود

روش تعادل حدی روش ساده و ارزان و در مدت کمتری تحلیل پایداری را انجام می‌دهد، شکل(4) و در عین حال نیاز به کامپیوتر برای محاسبات نمی‌باشد، ولی به‌علت عدم تطابق فرضیات محاسباتی آن با واقعیت، جوابهای حاصل دقیق نیست در عین حال از میزان تغییر مکانهای سد در شرایط مختلف پایان ساخت، آبگیری و بهره برداری نمی‌توان اطلاعی کسب نمود [3] . اما در روشهای عددی میزان تغییر مکانهای افقی و قائم و میزان تنشها در هر نقطه سد قابل محاسبه است و این روش انعطاف بیشتری برای قبول رفتار واقعی خاک را دارد ولی بکارگیری آن نیاز به سطح دانش فنی بیشتر دارد و استفاده از کامپیوترهای پیشرفته در آن قطعی است.

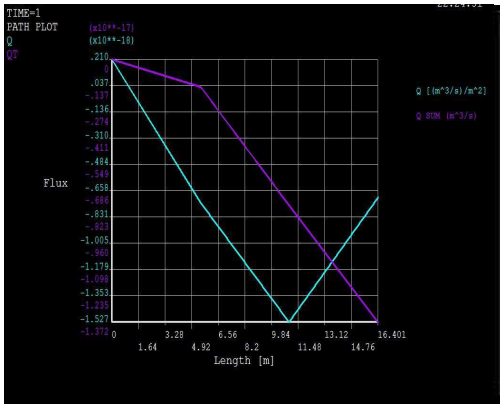


شکل(4) سطح شیب بحرانی

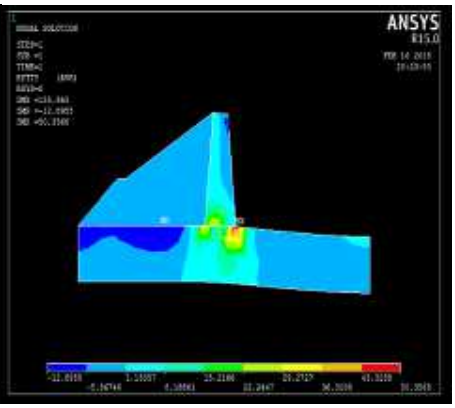
در این روش یک سطح لغزش بالقوه فرض می‌شود و نیروها سعی می‌کنند تا موجب لغزش آن شوند و یا نیروهای وارده با نیروهای مقاومتی روی آن سطح تحت شرایط شکست اولیه مقایسه و خروجی نتایج نرم افزار در شکل‌های (5) تا (9) نشان داده شده است. نیروهای فعال شامل نیروی ناشی از وزن توده لغزشی و نیروهای متقابل نشت می‌باشد و نیروی مقاوم در اثر مقاومت برش خاک عمل می‌کند و نسبت نیروی فعال به نیروی مقاوم روی یک سطح شیب‌دار تحت عنوان فاکتور ضریب ایمنی آن سطح معرفی می‌شود و کمترین مقدار این ضریب روی تعدادی از سطوح مفروض به عنوان ضریب ایمنی خاکریز معرفی شده و سطح مورد نظر که مهمترین فاکتور ایمنی را دارد سطح بحرانی می‌نامند.

$$S.F = \frac{Torque of \text{Re}sistace}{Torque of active force} \qquad (3)$$

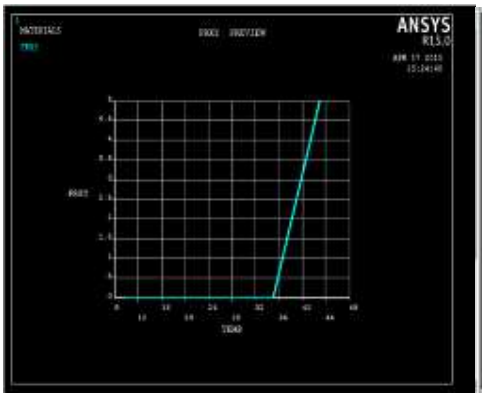
لازم به‌ذکر است در روش فلینوس که معمولاً در این روش ضریب اطمینان به دست آمده حدود 20–5 درصد کوچکتر از مقدار واقعی است.

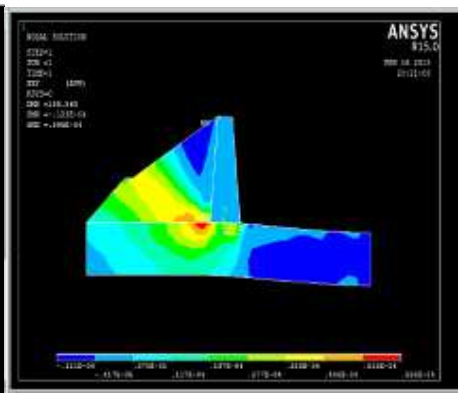


شکل(5) خروجی تحلیل نشت در هسته توسط نرم افزار انسیس



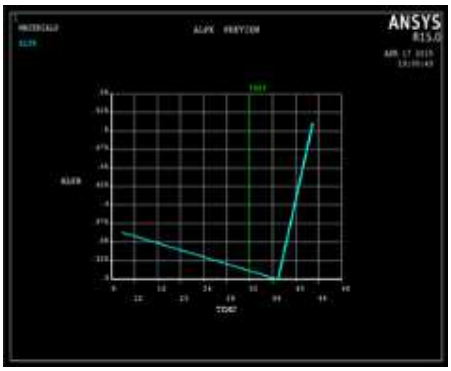
شکل(6) نشت در پائین‌دست سد





شکل(8) نشت در قسمت هسته

کل(7) نشت در بالادست سد

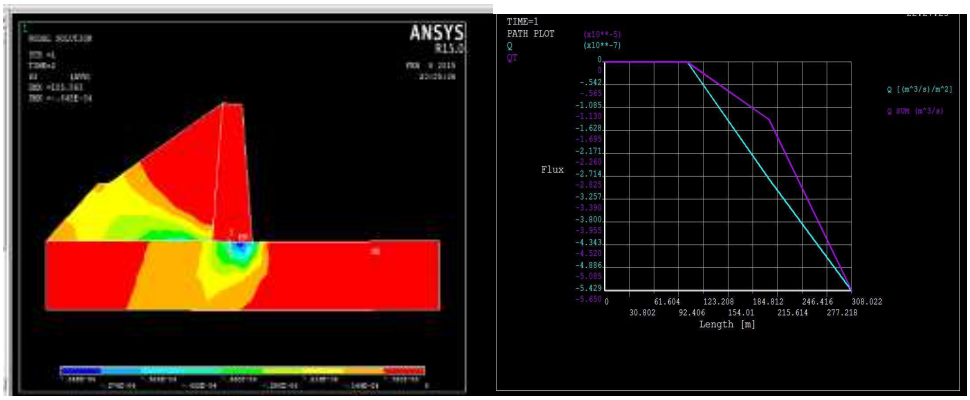


شکل(9) نشت در قسمت پی

در روش قطعات فقط معادله تعادل گشتاورها از معادلات تعادل درنظر گرفته می‌شود [4] ، روشهایی که هر سه معادله تعادل را ارضا نمایند مسلماً پیچیده‌تر و مشکلتر خواهند بود. بیشاپ معادله تعادل نیروها را در جهت قائم نیز در نظر گرفت و در این روش فرض می‌شود که ضریب اطمینان Sf هر قطعه با قطعات دیگر یکسان است.

نتایج و پیشنهادت

با توجه به تجزیه و تحلیلها انجام شده، نتایج نرم افزار برای هر بخش جمع آوری و در نهایت برای هر بخش پیشنهاد ارائه می‌شود. نشت در قسمتهای بالادست $5.43e^{-5}m^3/s$، در قسمت پائین دست $5.92e^{-5}m^3/s$، در قسمت میانی $6.01e^{-6}m^3/s$ و در قسمت پی $-5.95e^{-6}m^3/s$ توسط نرم افزار انسیس بدست آمد و در شکل (10) و (11) نشان داده شده است.کل نشت محاسبه شده توسط نرم افزار انسیس کمتر از مقدار واقعی است این مشکل به‌دلیل محدودیت ساختاری است.



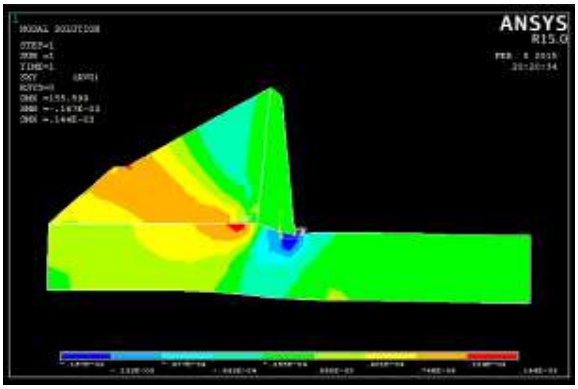
شکل(10) تحلیل تنش قائم سد

شکل(11) تحلیل فشار افقی

مهمترین پارامتر که باعث شکسته شدن سد می‌شود فشار منفذی است که ارقام نشان داده شده در جدول شماره (1) فشار منفذی در بخشهای مختلف سد را نشان می‌دهد و حداکثر فشار منفذی در اطرف هسته شکل (12)، که آن را به‌عنوان حداکثر فشار در منطقه بحرانی سد در نظر گرفته و در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که محدوده هسته علت اساسی حرکت عمودی در سد است و جدول شماره (2) حداقل و حدکثر فشار و تنش را در بخشهای مختلف سد نشان می‌دهد.

جدول(1) نتایج تنش در قسمتهای بالادست ، پائین دست ، هسته و کل سد

2.6×10^{-4} m^3/s	Up stream
2.5×10^{-3} m^3/s	Down stream
4×10^{-4} m^3/s	core
3.2×10^{-8} m^3/s	leakages



شکل(12) تحلیل مقدار جابجایی افقی سد

جدول (2) نتایج حداقل و حداکثر در مقاطع افقی و قائم

Ansys	افقی						قائم					
	حداکثر			حداقل			حداکثر			حداقل		
	تنش kpa	کرنش	جابجایی m	تنش kpa	کرنش	جابجایی m	تنش kpa	کرنش	جابجایی M	تنش kpa	کرنش	جابجایی M
	7700	0.07	0.136	4400	0.033	1.14	4350	0.09	0.135	110	0.002	0.116

نتیجه گیری

1- میزان تراوش کل از سد توسط نرم افزار انسیس، 450 لیتر درثانیه می‌باشدکه این مقدار در محدوده مجاز قرار دارد، که از مقدار تراوش واقعی در سد که مقدار آن 630 لیتر درثانیه است فاصله دارد، که به علت وجود نشت در درزهای پی و تکیه‌گاه‌ها و تونل انحراف می‌باشد.

2- میزان فشار آب حفره‌ای در نرم افزار انسیس از 0 تا 7700 کیلو پاسگال در کف پی بالادست متغیر است. چون در مرحله مخزن پر می‌باشد پس سد در شرایط نرمال بوده، لذا می‌توان از شرایط غیر بحرانی، فشار بحرانی فشار آب منفذی مطمئن بود.

3- آنالیزهای تنش کل نشان داد که تغییرات تنشهای در محدوده اتصال هسته و پوسته برای مقطع بحرانی، روند معمولی داشته و امکان گسیختگی هیدرولیکی در هسته سد وجود ندارد.

4- آنالیزهای تنش موثر و فشار منفذی به تنش کل در آنالیزهای تعادل حدی نشان داده است که فشار آبهای منفذی ایجاد شده در هسته با توجه به نفوذپذیری، ضخامت و ارتفاع هسته، مقادیر در حد مطلوب است.

قدردانی

از همکاری دفتر پژوهشهای کاربردی سازمان آب و برق خوزستان با اینجانب، کمال تشکر را دارم.

منابع

[1] دلواری، علی (1391). " تحلیل پایداری سد خاکی مارون توسط نرم افزار انسیس و مقایسه آن با نرم افزار ژئواستادیو"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد (اهواز).

[2] Kamanbedast, A., Beheshti, A., Faraji Sorbaghi, L. and Amin Karbala, M. (2014). "Evaluation and Seepage Analysis of Rock-Fill Dam Subjected to Water Level with Seep and Flac in Gotvand-Olya Dam". Department of Agriculture, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Iran.

[3] Murthy, G.S.R., Murty, k. and Raghupathy, G. (2013). "The Designing Earth Dams Optimally". The University of Michigan, USA.

[4] Tatewar, S., Pawade, N. (2013). "Stability Analysis Of Earth Dam By Geo studio Software". Government College of Engineering, USA.