

بررسی عددی نشست در سد سنگریزه ای گتوند علیا با استفاده از روش عددی CFD

علی بهشتی^۱، امیرعباس کمان بدست^۲، امین بردبار^۳، محمد امین کربلا^۴

^۱ دانشجوی دکتری سازه های آبی، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

^۲ استادیار گروه مهندسی آب اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

^۳ استادیار گروه مهندسی آب اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

^۴ مدیر فنی شرکت راهسازی و عمران ایران، فارغ التحصیل دکترای معدن دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

نام نویسنده مسئول:

علی بهشتی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۳۹۹/۰۸/۰۹

چکیده

یکی از معضلات موجود در سد های خاکی در دنیا ناشی از پدیده «نشست و تراوش» می باشد. مسئله تراوش آب و روش های کنترل آن در سدهای خاکی یکی از مهمترین مسائل در طراحی، ساخت، نگهداری و بهره برداری از اینگونه سدهاست. آگاهی از مشکلات نشست و قوانین حاکم بر آن برای متخصصان این امکان را فراهم می آورد که بهترین روش کنترل و کاهش نشست را در سدها اعمال نموده و نتایج حاصل از این تحلیل ها را می توان برای پروژه های ژئوتکنیک، عمران و ... بکار برد. در این تحقیق، به بررسی میزان نشست از سدهای خاکی پرداخته و با مقایسه میزان واقعی نشست در سدهای خاکی و تحلیل تنش های حاصل از این نشست ها و نحوه توزیع تنش به بررسی پایداری سدهای خاکی پرداخته شده است. در این تجزیه و تحلیل هیدرولیک جریان در محیط های متخلخل و روش های عددی حل معادله جریان آب در خاک های اشباع مورد بررسی قرار گرفته و سپس آنالیز تراوش با استفاده از مدل های ریاضی و در نهایت تحلیل این مدل ها توسط نرم افزارهای FLAC، Seep/w، PLAXIS انجام گرفت. نتایج نشان میدهد که به ازای حداکثر اختلاف پتانسیل ۱۶۰ متر مقدار نشست در سه نرم مدل PLAXIS، FLAC و SEEP/W به ترتیب برابر با ۷۸ لیتر بر ثانیه، ۷۸ لیتر بر ثانیه و ۸۰ لیتر بر ثانیه می باشد. تفاوت مقدار نشست محاسبه شده با مدل PLAXIS، به علت ساده سازی های در نظر گرفته شده در نرم افزار PLAXIS می باشد.

واژگان کلیدی: تراوش و نشست، رگاب شدن، تنش، FLAC، PLAXIS، SEEP/W.

مقدمه

نشت آب در سدهای خاکی و نحوه کنترل آن اولین گام مؤثر و یکی از مهمترین مسائلی است که در طراحی سدهای خاکی مورد توجه خاص متخصصین قرار گرفته است. دانش و آگاهی از قوانین بنیادی نشت به متخصصین اجازه می دهد تا از بوجود آمدن مشکلات جدی در اثر نشت جلوگیری کرده و بهترین نوع سیستم کنترل نشت را انتخاب نمایند.

اولین سد خاکی تاریخدار در جهان سد سعد-الکفرا واقع در جنوب قاهره در کشور مصر است که در سالهای ۲۷۵۰ تا ۲۹۵۰ قبل از میلاد ساخته شده است. این سد خاکی شاید اولین سد خاکی است که حدود ۴۸۰۰ سال قبل ساخته شد. این سد ۱۲ متر ارتفاع و دارای دو دیواره قلوه سنگی با فاصله ۳۶ متر و ضخامت ۲۴ متر در پی بوده و حد فاصل دو دیواره با مواد خاکی معمولی پر شده است. گزارشات حاکی از خرابی این سد در اثر تلاش برای افزایش ارتفاع آن بوده است. سد خاکی دیگری در سیلان در ۵۰۰ سال قبل از میلاد متشکل از ۱۳ میلیون متر مکعب مصالح ساخته شد. حدود سال ۱۲۰۰ بعد از میلاد سد دیگری در سیلان با ۱۲ تا ۲۷ متر ارتفاع و طول ۱۴ کیلومتر ساخته شد. در همان زمان سدهای خاکی دیگری در هند مانند سد مادوک ماسور (Madduk-Masur) (سال ساخت ۱۵۰۰ بعد از میلاد) با ۳۰ متر ارتفاع ساخته شد که با تلاش برای افزایش ارتفاع بخاطر نداشتن سر ریز تخریب شد. کمان بدست و شاه حسینی (۲۰۱۱) در تحقیقی به بررسی نشت در بررسی میزان نشت از سد کرخه به وسیله نرم افزار Seep/w پرداخته و به این نتیجه رسیده اند که به منظور بررسی و آنالیز دقیق تر مسئله با استفاده از نرم افزارهای سه بعدی که قابلیت سازی بیشتری دارند و همچنین با استفاده از نرم افزارهای کامل تر می توان نتایج مطلوب تری به دست آورد. همچنین به این نتیجه رسیده اند که در مورد نرم افزار Seep/w می توان گفت که یک نرم افزار قابل اعتماد برای مدل کردن یک سد و اندازه گیری میزان تراوش آن می باشد. این نرم افزار به راحتی میزان عددی تراوش از یک مقطع سد را به کاربر نشان می دهد، ضمن آنکه مسلط شدن به Seep/w با کمی ممارست امکان پذیر می باشد. همچنین با Seep/w می توان مقاطع دارای لایه بندی پیچیده را به راحتی المان بندی و مدل کرد. کمان بدست و آقامجیدی (۱۳۹۰) در تحقیقی به تحلیل پایداری سد خاکی مارون توسط نرم افزار ANSYS پرداختند که این نرم افزار را با بسته نرم افزاری GEOSLOPE مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که میتوان گفت که سد به لحاظ پایداری در شرایط مناسبی است که این مسئله توسط هر دو نرم افزار تایید می شود. تنها مواردی چون جابه جایی قائم در سد که چنانچه ذکر شد به علت محدودیت های اعمالی در زمان تحلیل این نتیجه به دست آمد. مسئله دیگر نشست در هسته رسی است که تاکنون تاثیری بر عدم پایداری سد نداشته است. دیگر پارامترها از قبیل تراوش، فشار آب حفر های، پایداری شیروانی، نشست در بالادست و پایین دست سد در حالت نشت پایداری، شرایط مناسبی را دارا هستند. سیدی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی به بررسی کنترل سه بعدی نشت در سد اعلی دولت (استان فارس) با استفاده از روش عددی اجزاء محدود با نرم افزار SEEP/W2D پرداختند که این نتایج رسیدند که نشت سه بعدی از پی و بدنه مقطع انتخابی مورد مطالعه و تحلیل قرار گرفته است. در این تحلیل قسمت اصلی سد اعلی دولت مورد بررسی محاسبه شده است. با تحلیل سه بعدی نشت می توان جریان های قرار گرفته و نشت از پی و بدنه سد به طور همزمان با استفاده از نرم افزار عمود بر مقاطع عرضی بدنه سد که در تحلیل دو بعدی در نظر گرفته نمی شود در محاسبات وارد کرد. به طور کلی با حل معادلات جریان در سد جهت می توان مناطقی را که احتیاج به آب بندی دارند تشخیص داده و دبی عبوری از پی و بدنه را با دقت بیشتری محاسبه کرد. پس از محاسبه مقدار Z, Y, X نشت برای ترازهای مختلف آب و برای ماههای مختلف، میزان نشت در حالت استفاده از آب بند نیز محاسبه شد.

مواد و روش ها

امروزه به دلیل پیشرفت کامپیوتر، روش های عددی بیش از پیش برای حل معادله حرکت آب در خاک مورد استفاده قرار می گیرند. در این روش ها، هدف به دست آوردن مقدار تابع (جواب معادله) در نقاط مشخصی از شبکه می باشد. یکی از محاسن روش های عددی این است که مسئله مورد نظر را می توان با هر نوع شرط اولیه و شرایط مرزی حل کرد.

معروفترین روش ها عبارتند از روش اجزاء کوچک محدود (Finite Element Method) و تفاضلهای محدود (Finite Difference).

روش اجزاء محدود یک روش قوی عددی برای حل معادلات دیفرانسیل می باشد. با توجه به توسعه روز افزون رایانه ها و امکان پردازش داده ها با سرعت زیاد، این روش در مهندسی جایگاه تعیین کننده ای یافته است. در روش اجزاء محدود، یک محیط پیوسته به تعدادی المان که در نقاط گرهی به هم متصل هستند، تقسیم می گردد. مقادیر تغییر مکان در هر نقطه المان (U) بر حسب تغییر مکان نقاط گرهی (v) با کاربرد توابع انترپوله به صورت زیر تعریف می شود:

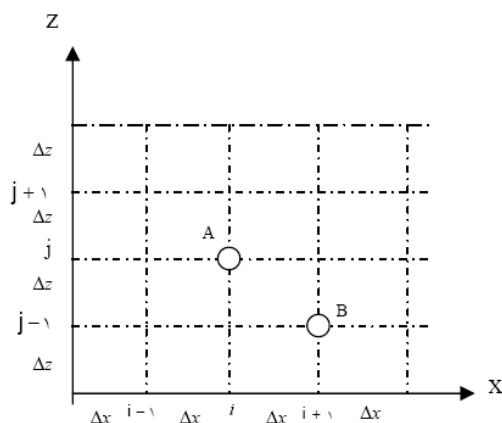
$$U = Nv$$

توابع انترپوله در ماتریس (N)، توابع شکل (Shape function) نیز نامیده می شوند.

روش تفاضلهای محدود در حل مسائل مربوط به حرکت آب در خاک کاربرد وسیعی دارد و خود به چندین روش تقسیم می شود. در این قسمت، حل معادله حرکت آب در خاک های اشباع (معادله لاپلاس)، با استفاده از روش صریح (Explicit) تفاضل های محدود، شرح داده می شود. معادله عمومی حرکت ماندگار آب در خاک های اشباع و همگن در دو بعد را می توان به صورت زیر نوشت (seep/w 2007 engineering)

$$k_x \frac{\partial h^2}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial h^2}{\partial y^2} = 0$$

در روش تفاضل های محدود سطح مورد نظر (سطح X-Z) به شبکه ای متشکل از گره ها تقسیم می شود. هر گره با مختصات X, Z اش که در اینجا با زیرنویس j, i نشان داده می شود، مشخص می گردد. به طور مثال جواب معادله (۲-۴۶) در نقطه A به صورت $h_{i,j}$ و در نقطه B به صورت $h_{i+1,j-1}$ مشخص می شود (شکل ۲-۳). h بار پتانسیل کل می باشد، بنابراین $h_{i,j}$ بار پتانسیل کل در نقطه ای به طول i و عرض j می باشد.



شکل ۱: روش تفاضل های محدود

در روش تفاضل های محدود، مشتقات جزئی با استفاده از بسط تیلور به دست می آیند. به طور مثال، برای محاسبات مشتقات جزئی مرتبه دوم $\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}$ و یا $\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}$ به ترتیب زیر عمل می شود:

ابتدا بسط تیلور را برای $h_{i+1,j}$ و $h_{i-1,j}$ می نویسیم.

$$h_{i+1,j} = h_{i,j} + \Delta x \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)_{i,j} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \right)_{i,j} + \frac{(\Delta x)^3}{3!} \left(\frac{\partial^3 h}{\partial x^3} \right)_{i,j} + \dots$$

$$h_{i-1,j} = h_{i,j} - \Delta x \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)_{i,j} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \right)_{i,j} - \frac{(\Delta x)^3}{3!} \left(\frac{\partial^3 h}{\partial x^3} \right)_{i,j} + \dots$$

با جمع کردن روابط بالا، رابطه زیر به دست می آید:

$$h_{i+1,j} + h_{i-1,j} = 2h_{i,j} + 2 \frac{(\Delta x)^2}{2!} \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \right)_{i,j} + 2 \frac{(\Delta x)^4}{4!} \left(\frac{\partial^4 h}{\partial x^4} \right)_{i,j} + \dots$$

با حذف جملاتی که در آن ها توان عبارت (Δx) از ۴ به بالا می باشد، می توان رابطه زیر را به دست آورد:

$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \right)_{i,j} = \frac{h_{i-1,j} - 2h_{i,j} + h_{i+1,j}}{(\Delta x)^2}$$

برای جهت Z ها نیز می توان با روش مشابهی رابطه زیر را به دست آورد:

$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}\right)_{i,j} = \frac{h_{i,j-1} - 2h_{i,j} + h_{i,j+1}}{(\Delta z)^2}$$

و در نهایت می توان نوشت :

$$K_x \frac{h_{i-1,j} - 2h_{i,j} + h_{i+1,j}}{(\Delta x)^2} + K_z \frac{h_{i,j-1} - 2h_{i,j} + h_{i,j+1}}{(\Delta z)^2} = 0$$

از این رابطه می توان $h_{i,j}$ را به دست آورد :

$$h_{i,j} = \frac{1}{2(A+B)} [Ah_{i-1,j} + Ah_{i+1,j} + Bh_{i,j-1} + Bh_{i,j+1}]$$

که در آن $A = \frac{K_x}{(\Delta x)^2}$ و $B = \frac{K_z}{(\Delta z)^2}$ می باشد.

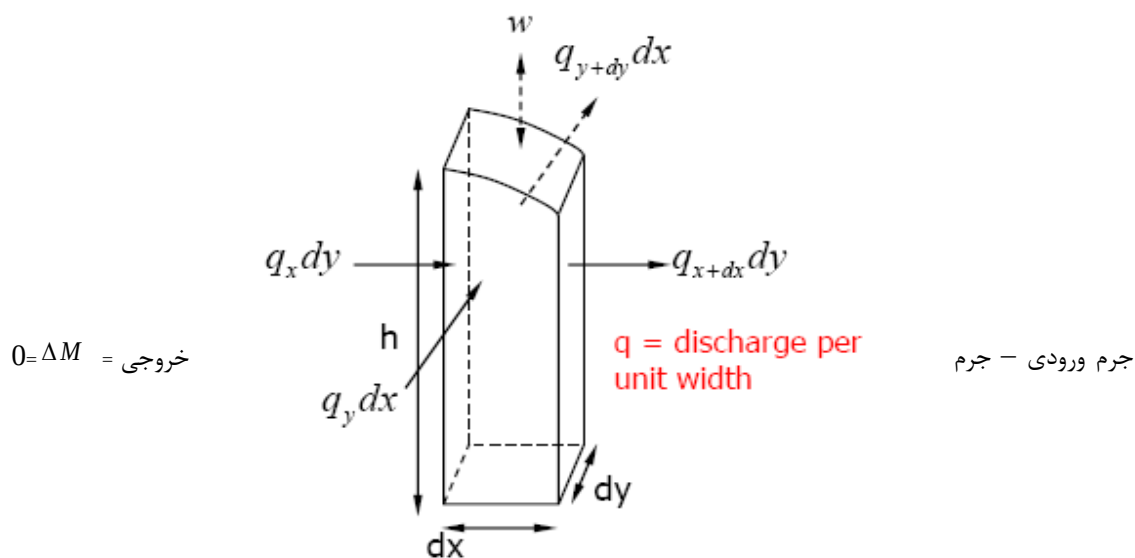
برای خاک های ایزوتروپ که $K_x = K_z = K$ می باشد، چنانچه $\Delta x = \Delta z$ باشد، می توان به صورت زیر نوشت :

$$h_{i,j} = \frac{1}{4} (h_{i-1,j} + h_{i+1,j} + h_{i,j-1} + h_{i,j+1})$$

این رابطه نشان می دهد که برای تعیین پتانسیل کل در هر گره، پتانسیل کل در گره های اطراف آن باید معلوم باشد.

برای حل یک سیستم n معادله و n مجهول، راه حل های عددی مختلفی وجود دارد. به عنوان مثال می توان از روش های (حذف گوسی) (Gauss Elimination Method)، (گوس- سیدل) (Successive Substitution Method) و (نیوتون - رافسون) (Newton Raphson Method) نام برد.

در شکل زیر و فرض جریان ماندگار میتوان نوشت :



$$\rho q_x dy \Delta t - \rho q_{x+dx} dy \Delta t + \rho q_y dx \Delta t - \rho q_{y+dy} dx \Delta t + \rho w dx dy \Delta t = 0$$

$$\Rightarrow \rho \Delta t dy \left[-k \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right)_x + k \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right)_{x+dx} \right] + \rho \Delta t dx \left[-k \left(h \frac{\partial h}{\partial y} \right)_y + k \left(h \frac{\partial h}{\partial y} \right)_{y+dy} \right] + \rho w dx dy \Delta t = 0$$

$$\Rightarrow \rho \Delta t d_y \left[k \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) dx \right] + \rho \Delta t dx \left[k \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial h}{\partial y} \right) dy \right] + \rho w dx dy \Delta t = 0$$

$$\Rightarrow k \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) dx dy + k \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial h}{\partial y} \right) dx dy + w dx dy \Delta t = 0$$

$$\Rightarrow k \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} \frac{\partial h^2}{\partial x} \right) + k \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{2} \frac{\partial h^2}{\partial y} \right) + w = 0$$

$$k \left(\frac{\partial h^2}{\partial^2 x} + \frac{\partial h^2}{\partial^2 y} \right) = -2w$$

پارامتر سمت راست معادله در حالت بارندگی و تبخیر اعمال می گردد. هنگامی که بارندگی یا تبخیر را مد نظر قرار نداده و از آن صرف نظر نماییم رابطه بالا بصورت زیر بدست می آید:

$$k \left(\frac{\partial h^2}{\partial^2 x} + \frac{\partial h^2}{\partial^2 y} \right) = 0$$

مشخصات و ویژگی های فنی طرح

• احجام کلی طرح

عملیات خاکی (خاک برداری + حفاری زیرزمینی + خاک ریزی): حدود ۸۲ میلیون متر مکعب

عملیات بتنی (روباز + زیرزمینی): حدود ۲,۲ میلیون متر مکعب

وزن تجهیزات هیدرومکانیک: ۲۶۰۰۰ تن (با احتساب ۱۰۰۰ مگاوات فاز توسعه نیروگاه)

• سیستم انحراف آب

شامل فراز بند الحاقی از نوع سنگریزه ای به هسته رسی به ارتفاع ۸۰ متر، نشیب بند به ارتفاع ۲۱ متر و سه رشته تونل انحراف با

پوشش بتنی به طول جمعی ۴۵۲۹ متر و قطر تمام شده ۹/۵ متر (از این سیستم در دوران بهره برداری بعنوان سیستم تخلیه کننده تحتانی استفاده خواهد شد).

• بدنه سد

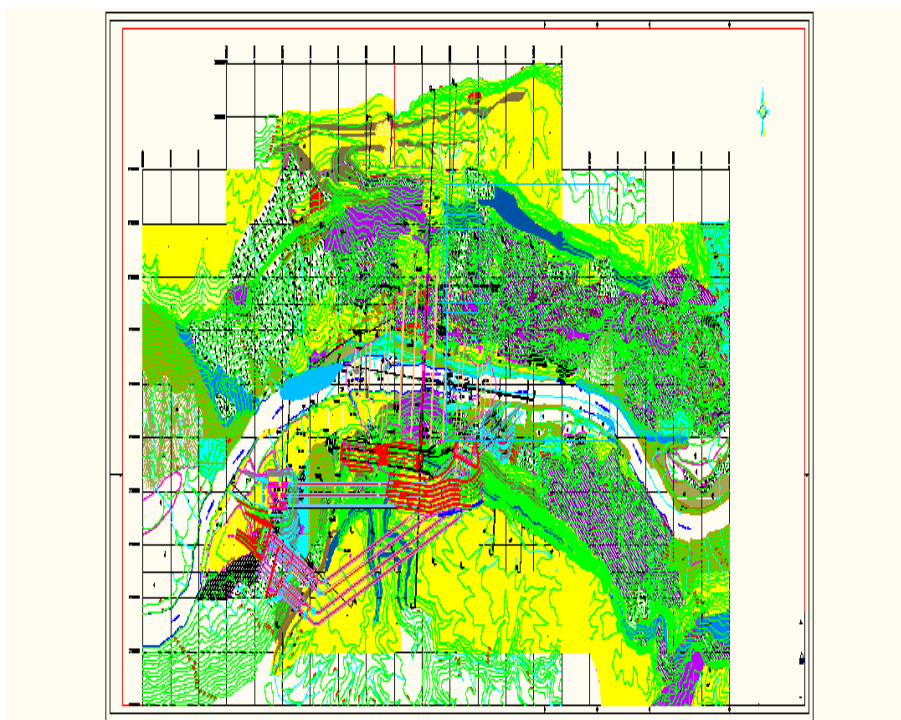
بدنه سد گتوندعلیا از نوع سنگریزه ای با هسته رسی به ارتفاع ۱۸۲ متر بعنوان بلندترین سد خاکی کشور، طول تاج ۷۶۰ متر، عرض

تاج ۱۷ متر، و تراز تاج ۲۴۶ متر بالاتر از سطح دریا احداث شده است. برای احداث بدنه سد، ۳۱/۵ میلیون متر مکعب خاک ریزی، بیش از ۷

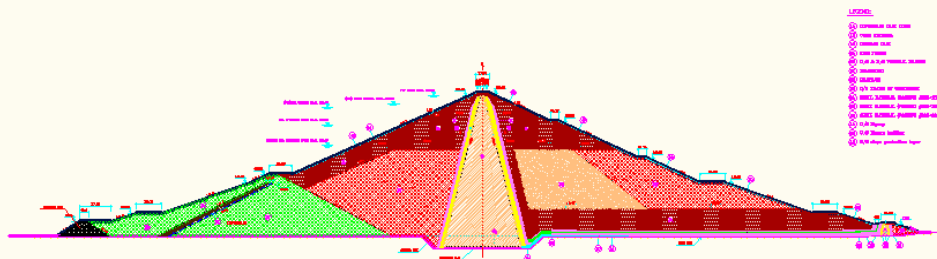
میلیون متر مکعب خاک برداری، ۲۰۰ هزار متر طول تزریقات تحکیمی در زیر بدنه و ۴۹۳ هزار متر پرده آب بند اجرا گردیده است. از ویژگی

های منحصر به فرد عملیات ساختمانی سد، اجرای سیستم تحکیم و آب بندی زیر پی و جناحین بدنه است که برای این سیستم ترکیبی از

دو روش پرده و دیوار آب بند در نظر گرفته شده است.



شکل ۲- پلان قرار گیری سد



شکل ۳- تیپ حداکثر مقطع بدنه سد

نرم افزار PLAXIS

برنامه plaxis یک مدل کامپیوتری با فرض المانهای محدود می باشد که اولین ویرایش این نرم افزار به منظور آنالیز سدهای خاکی احداث شده در کشور هلند در سال (۱۹۸۷) میلادی توسط گروه ژئوتکنیک دانشگاه دلف معرفی گردیده است .

نرم افزار FLAC2D

نرم افزار FLAC یک برنامه ی تفاضل محدود است که برای محاسبات مهندسی مورد استفاده قرار می گیرد. این برنامه رفتار سازه هایی را که در آن خاک، سنگ و یا سایر مصالحی که ممکن است بعد از حد تسلیم به حالت پلاستیک برسند به خوبی مدل سازی می کند. نرم افزار FLAC در اصل برای مهندسين ژئوتکنیک و معدن طراحی شده است، با اینحال این برنامه با توجه به توانایی ها و قابلیت های

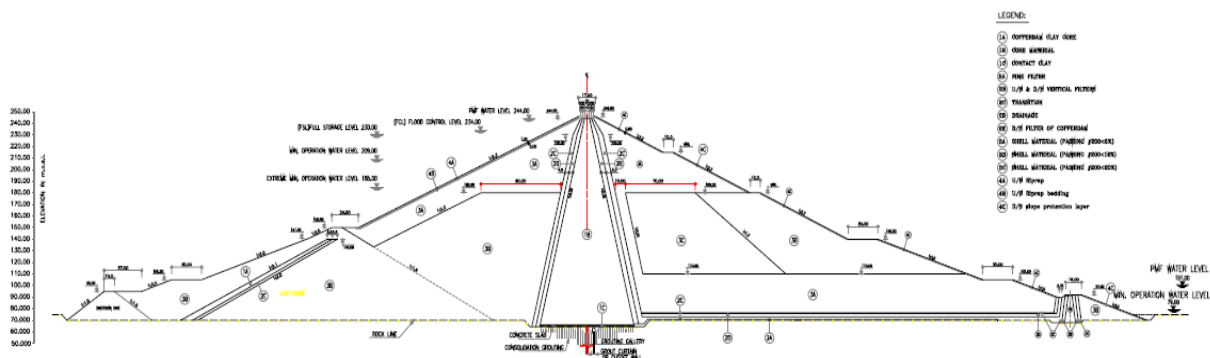
گسترده ای که دارد می تواند برای حل مسائل پیچیده ی مکانیکی در رشته های دیگر مهندسی نیز استفاده شود. مدل های رفتاری متنوعی که در این برنامه تعریف شده است به مهندسین اجازه می دهد که مسائل مختلفی را تحت تحلیل های غیرخطی مدلسازی و تحلیل کنند.

نرم افزار Seep/w

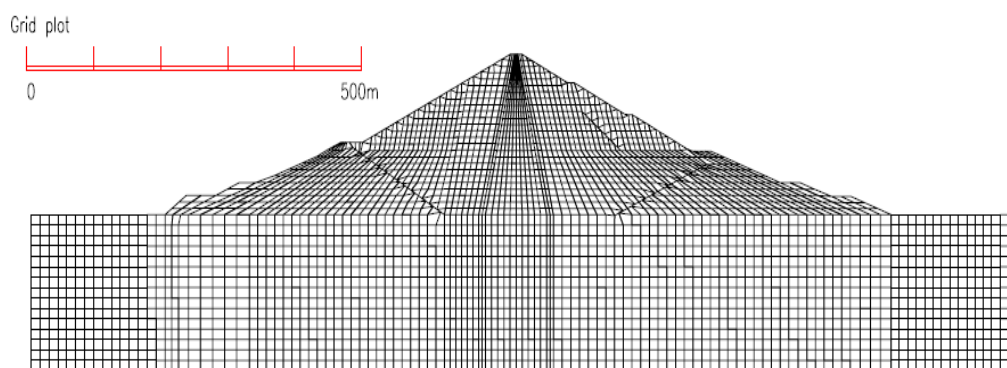
نرم افزار Seep/w از مجموعه نرم افزارهای Geo-Office می باشد که قادر است در تمامی شرایط ممکن با استفاده از روش نسبتاً قدرتمند المان محدود، جریان درون سازه های خاکی را شبیه سازی نماید.

بحث و نتیجه گیری

به منظور بررسی شرایط توزیع نشت و تنش در بدنه سد گتوند علیا در شرایط مختلف رقوم سطح آب آبیگری و بارگذاری مراحل ساخت سد توسط نرم افزارهای PLAXIS, SEEP/W, Flac مدل سازی و تحلیل شده است.



شکل ۴- مقطع تیپ بدنه سد گتوند



شکل ۵- شبکه مدل تفاضل محدود بدنه سد در مقطع حداکثر

تحلیل دو بعدی تراوش از بدنه

با کمک نرم افزارهای PLAXIS, SEEP/W, Flac تحلیل تراوش به صورت دو بعدی در حد اکثر عرض پی سد انجام شده است. با توجه به پیچیدگی مدل سازی تمامی عوارض سطحی و ناهمگونی ها، ناحیه بندی پی و تکیه گاه ها بصورت منطقی ساده سازی شده است. در این تحلیل همه بدنه سد مدل شده و شرایط مرزی بالادست و پایین دست بر روی مرزهای آن اعمال شده است.

جدول ۱- ضریب نفوذپذیری نواحی مختلف بر حسب سانتی متر بر ثانیه

تحلیل	هسته رسی	آغاجری برجا	آغاجری چین خورده	بختیاری برجا	بختیاری نابرجا	دیوار آب بند	پرده آب بند
1	1.00E-07	1.00E-05	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-01	4.00E-05	2.00E-06
2	1.00E-07	1.00E-04	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-01	4.00E-05	2.00E-06

بخش‌هایی از سازند آغاچاری همانند لایه‌های گل‌سنگی و لای سنگی آن به همین گونه رفتار می‌کنند و برآوردهای فشار آب حفره‌ای در مورد این لایه‌ها منطقی است اما وجود لایه‌های نفوذپذیر ماسه سنگی، درزه‌ها و شکستگی‌ها باعث افزایش میزان گذردهی این سازند می‌گردد که در تحلیل‌های تراوش به تأثیر این نواحی توجه شده است.

در بالادست، شرایط مرزی معادل آب مخزن در پی و تکیه‌گاه‌ها بصورت هیدرواستاتیک اعمال شده است و در پایین دست، ارتفاع ۵ متر اعمال شده است که به معنی اعمال اختلاف پتانسیل واقعی در حالات مختلف بهره‌برداری است.

میزان تراوش عبوری از مقطع طولی واقع بر روی محور سد محاسبه شده و و مقادیر نشت بدست آمده از این سه نرم افزار با حد اکثر اختلاف ۷۸ لیتر بر ثانیه در نرم افزار FLAC و ۷۸ لیتر بر ثانیه در نرم افزار SEEP/W و ۸۰ لیتر بر ثانیه در نرم افزار PLAXIS می باشد که این مقدار اختلاف به خاطر ساده سازی‌های انجام شده در سد می باشد. در جئول ۴-۲ مقادیر نشت در ترازهای مختلف آبیگری مخزن را که با استفاده از سه نرم افزار بدست آمده را نشان می دهد.

جدول ۲ - مقادیر نشت در ترازهای مختلف آبیگری مخزن

تراز آب گیری بر حسب متر	نشت برآورد شده از نرم افزار seep/w lit/sec	نشت برآورد شده از نرم افزار Plaxis lit/sec	نشت برآورد شده از نرم افزار FLAC lit/sec	مقدار قرائت شده از پیزومترهای سد
135	13	14	13	14
150	17	18	17	18
185	21	21.5	21	22
209	36.5	37.5	36.5	به تراز آبیگری نرسیده
230	46.4	48	46.4	به تراز آبیگری نرسیده
234	64.5	66	64.5	به تراز آبیگری نرسیده
244	78	80	78	به تراز آبیگری نرسیده

منابع و مراجع

- [1] Delft Geo system, 2002, MSeep User Manual
- [2] Fast Lagrangian Analysis of Continua User's Guide. 2002 Itasca Consulting Group, Inc.
- [3] Geo-Slope, 2004, Seep/w for finite element seepage analysis, users guide, Geo-Slope, Calgary, Alta.
- [4] Kamanbedast, A. Shahosseini, M. 2011. Determination of Seepage and Analysis of Earth Dams (Case Study: Karkheh Dam). Iranica Journal of Energy & Environment
- [5] [kamanbedast ,A, Beheshti ,A , Faraji Sorbaghi, L , Amin Karbala ,M., " 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., 2014
- [۶] اکبری، ح و علیزاده، ح. ۱۳۹۰. تجزیه و تحلیل نتایج ابزارهای یک خوشه فشارسنجی در بدنه سد خاکی با نگرشی بر نتایج ابزارهای نصب شده در بدنه سد گتوند. اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس داخلی سد و نیروگاههای برق آبی. تهران
- [۷] امین جواهری، ا. و پاک نیت، ا. ۱۳۸۸. تحلیل استاتیکی و دینامیکی سدهای خاکی با استفاده از Geo studio. نشر علم عمران
- [۸] بهپورگوهری م. و روحی مهر ا. و وفایی پور ر. (۱۳۸۵) "مرجع کامل PLAXIS V8" چاپ اول، فروزش، تبریز
- [۹] حائری، م و اکبری گرکای، ح. ۱۳۹۰. تحلیل سه بعدی اثر لغزش تکیه گاه بر خصوصیات تنش-تغییر شکل در سدهای سنگریز در پایان ساخت و آب گیری اولیه (مطالعه موردی: سد گتوند علیا). اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس داخلی سد و نیروگاههای برق آبی. تهران
- [۱۰] خرقانی، س. و فخاری، ن. ۱۳۸۳، مهندسی سدهای خاکی، انتشارات دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور
- [۱۱] زندی، ا.، نوروزی، ا. ۱۳۹۰. بررسی موردی نشست در سد گتوند و مدل سازی آن با نرم افزار seep. اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه های برق آبی. تهران
- [۱۲] شمسایی، ا.، ۱۳۸۱، هیدرولیک جریان آب در محیط های متخلخل، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، جلد دوم، مهندسی آبهای زیرزمینی.
- [۱۳] شمسایی، ا.، ۱۳۸۱، هیدرولیک جریان آب در محیط های متخلخل، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، جلد دوم، مهندسی آبهای زیرزمینی.
- [۱۴] صالحی، د. ۱۳۹۰. بررسی فشارهای حفره ای اضافی اندازه گیری شده ناشی از ساخت در پی سد گتوند. اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس داخلی سد و نیروگاههای برق آبی. تهران
- [۱۵] صدرنژاد، ا.، ۱۳۸۴، سدهای خاکی و تحلیل عددی آن، دانشگاه شهید رجایی تهران
- [۱۶] ضمیران، س. ۱۳۹۱. مدلسازی و تحلیل سازه های خاکی و سنگی در FLAC. انتشارات نوآور
- [۱۷] گزارش تحلیل های تنش، تغییر شکل و تراوش سد مخزنی گتوند علیا. مطالعات مرحله دوم. شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران. ۱۳۸۶
- [۱۸] گنجی دوست، ه و اکبری، ح. ۱۳۹۰. تحلیل جابه جایی های قائم (نشست) بدنه سد گتوند در زمان قبل از آبگیری مقدماتی. اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس داخلی سد و نیروگاههای برق آبی. تهران
- [۱۹] نیرومند، ح. و نیرومند، ب. ۱۳۸۴. راهنمای علمی و معتبر سازی PLAXIS V 8. انتشارات ناقوس
- [۲۰] کمان بدست، ا. و آقامجیدی، ر. ۱۳۹۰. تحلیل پایداری سد مارون توسط نرم افزار ANSYS. اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس داخلی سد و نیروگاههای برق آبی. تهران