

برآورد دبی نشست و تعیین حد آب بندی در ساختگاه سدها با استفاده از تحلیلهای هیدرومکانیکی - سد گتوند علیا

مصطفی شریف زادهⁱ؛ رضا ناطقیⁱⁱ؛ مجید کیانیⁱⁱⁱ

چکیده

یکی از مهمترین پارامترهای تاثیر گذار در انتخاب ساختگاه سدهای بزرگ میزان نفوذپذیری توده سنگ و چگونگی آب بند نمودن آن است. در برآورد میزان نشست توجه به وضعیت درزه داری به دلیل قابلیت بالای گذر دهی جریان در مقایسه با تخلخل بین دانه‌ای ماده سنگ بسیار مهم است. از طرفی میزان گذر دهی توده سنگ به دلیل تغییر در بازشدگی درزه ها بسیار تاثیر پذیر از توزیع تنش موثر وارد بر آن است. در این مقاله سعی شده به کمک روش المان مجزا، یک مدل عددی سه بعدی با قابلیت آنالیز توام هیدرو - مکانیکی از پی سد گتوند علیا تهیه شود و به کمک آن میزان گذر دهی توده سنگ با فرض آبگیری تا ترازهای مختلف و فشار هیدرواستاتیکی متغیر پیش بینی شود. بر اساس نتایج تحلیل عددی در مورد سد گتوند علیا حد آب بندی ۸۵ متر و میزان نشست بین ۳/۲ تا ۱۶/۸ متر مکعب بر ثانیه تخمین زده شده است.

کلمات کلیدی

درزه، المان مجزا، آب بندی، گتوند علیا، هیدرومکانیک

Simulation of Seepage and Water Tightening Limit in Dam Foundation by Using of Hydro Mechanical Analysis – Upper Gotvand Dam

M.Sharifzadeh; R.Nateghi; M.kiani

ABSTRACT

Seepage and ways of water tightening is one of the fundamental parameters in choosing the situation of large dams. In the field of seepage estimation considering the position of joints because of high capability of fluid flow in comparison to the porosity of the rock is so important. Also fluid of flow in rock mass as a result of changes in aperture of the joints is so impressible of effective stresses exerted on it. In this paper it has been tried to create a 3dimentional model of upper Gotvand dam with capability of hydro mechanical simulation by using of distinct element method .with the results of numerical modeling the water tightening limit was estimated 85 meter and seepage between 3.2 to 16.8 (m³/s).

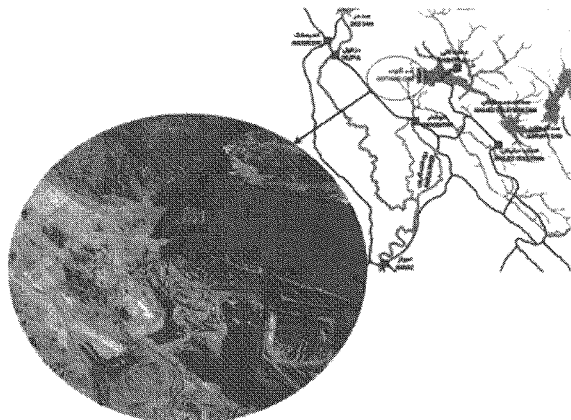
KEYWORDS

Stress - Transmissivity, Joint, Seepage, Gotvand dam, Water tightening

ⁱ استادیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیر کبیر Email: sharifzadeh@ aut.ac.ir

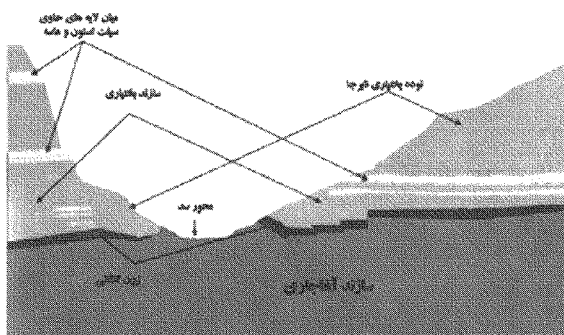
ⁱⁱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک سنگ- دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیر کبیر
Email: r.nateghi@gmail.com

ⁱⁱⁱ کارشناس ارشد سازه های هیدرولیکی- شرکت مهندسی ایمن سازان
Email: Majid.kiyani@gmail.com



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی سد گتوند علیا

پی سد مربوط به سازند آغاچاری و از نظر لیتولوژی تنویری از ماسه سنگ، کنگلومرا، لای سنگ و گل سنگ است که علاوه بر لایه بندی دارای ۲ دسته درزه قابل تشخیص است [۳].



شکل ۲: سازندهای زمین شناسی ساختگاه سد گتوند علیا [۲]

یکی از مهمترین پارامترهای انتخاب ساختگاه در طرح های سد سازی، وضعیت تراوش و فرار آب از پی و تکیه گاه های سد است. این پدیده علاوه بر تاثیر مستقیم بر پایداری سازه به دلیل تضعیف پارامترهای مقاومتی سنگ در برخی از موارد به دلیل مشکلات فراوان و هزینه بالای حفاری و تزریق احداث سد را در یک منطقه غیر قابل توجیه می نماید. روش معمول در تخمین میزان نفوذپذیری بررسی مغزه های اکتشافی و آزمونهای نفوذپذیری صحرایی نظیر آزمون لوژان یا تزریق آزمایشی است که این قبیل آزمایش ها نیز به دلیل لزوم حفاری تا اعماق زیاد بسیار پر هزینه می باشند. امروزه با وجود نرم افزارهای عددی مختلف در حوزه ژئومکانیک بسیاری از طراحی ها بر اساس نتایج حاصل از این نرم افزارها انجام می گیرد. 3DEC یکی از نرم افزارهایی است که بر اساس روش المان مجزا طراحی شده و امکان مدل سازی سه بعدی توده سنگ درزه دار را فراهم می کند. قابلیت تحلیل هیدرو مکانیکی از امکانات جدید اضافه شده به این نرم افزار بوده و نمونه ای از کاربرد آن در مدل سازی نشت از سد دیده نشده است و این مقاله حاصل اولین تحقیق در این زمینه به شمار می رود. گفتنی است از نتایج حاصل می توان در مراحل طراحی به عنوان معیاری برای تعیین حد آب بندی یا تخمین عمق نفوذ پرده یا دیوار آبیند همچنین در طراحی پارامترهای تزریق نظیر ترکیب دوغاب و فشار تزریق، بهره جست.

۳- زمین شناسی و زمین شناسی مهندسی

۲- موقعیت جغرافیایی سد گتوند و ساختار زمین

۱-۳- زمین شناسی

شناسی منطقه

ساختگاه سد شامل دو سازند اصلی است که تنها به خصوصیات زمین شناسی سازند آغاچاری که سد بر روی آن در حال احداث است، اشاره می شود. سازند آغاچاری در حدود ۳۰۰۰ متر ضخامت داشته و شامل لایه های ۱ تا ۵ متری ماسه سنگ به رنگ خاکستری تا خاکستری متمایل به سبز و میان لایه های گل سنگ و سیلت استون و مارن استون است قسمت فوقانی این سازند لهربری نامیده می شود و شامل سیلت استون و مارن استون و ماسه سنگ آهکی و میان لایه های ژیبس است (شکل ۲) [۲].

سد گتوند علیا در استان خوزستان و ۲۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان شوشتر واقع شده است. این سد بلندترین سد خاکی ایران و آخرین سدی است که بر روی رودخانه کارون قبل از ورود به دشت خوزستان احداث می گردد (شکل ۱). سد از نوع سنگریزه ای با هسته رسی با ارتفاع ۱۷۸ متر و طول تاج ۷۴۰ متر است که به منظور تولید انرژی برق آبی و کنترل سیلابهای فصلی در مجاورت شهرستان گتوند در حال احداث است. ساختگاه سد در منطقه چین خورده زاگرس واقع شده و شامل سازندهای آغاچاری و بختیاری به صورت برجا و نابرجا است که در پی و تکیه گاهها رخنمون دارند (شکل ۲).

۲-۳- ناپیوستگیها

با توجه به تحقیقات انجام گرفته در رابطه با جریان سیال در محیطهای سنگی، ناپیوستگی ها مهمترین ساختارهای

۳-۳-۲- پارامترهای برشی ناپیوستگی ها

تا سال ۱۳۷۹ تعداد ۱۱ تست برش برجا در ساختگاه سد انجام گرفته است ابعاد بلوکهای مورد آزمایش به صورت مکعب مستطیلیهایی با ۷۰ سانتی متر طول ۷۰ سانتی متر عرض و ۳۵ سانتی متر ارتفاع هستند که تحت بار ۰/۴۲ تا ۴/۹ مگا پاسکال تحکیم شده است. بارگذاری از سمت شمال به جنوب در طول ضعیف ترین صفحات لغزش و بار وارده در ۳ آزمایش تا حدود ۴ مگا پاسکال بوده است نتایج این آزمایشها نشانگر میانگین مقاومت برشی نزدیک به ۰/۵ مگا پاسکال و زاویه اصطکاک داخلی ۲۲ درجه و زاویه اتساع ۳ درجه است (جدول ۲) [۵].

جدول ۲: نتایج تست برش برجا در سازند آغاچاری

زاویه اتساع (°)	Φ (°)	C (Mpa)	سازند
۳	۱۵	۰/۸۲	سازند ۱ ۲ ۳
۴	۲۷	۰/۲۷	
۱	۱۹	۰/۷۴	
۴	۱۷	۰/۱۳	
۳	۱۶	۰/۳۰	

۳-۳-۳- تنشهای برجا

بر اساس نتایج حاصل از آزمایش شکافت گمانه ای که در سه گمانه مختلف در سازند آغاچاری انجام گرفته نرخ تنش افقی به قائم متغیر و حداکثر ۰/۵ تخمین زده می شود که تقریباً منطبق بر نتایج حاصل از آنالیز معکوس ابزار دقیق (همگرایی سنج و کشیدگی سنج) نصب شده در تونلهای انحراف آب است [۵].

جدول ۳: نتایج تستهای آزمایشگاهی نمونه های گرفته شده از پی

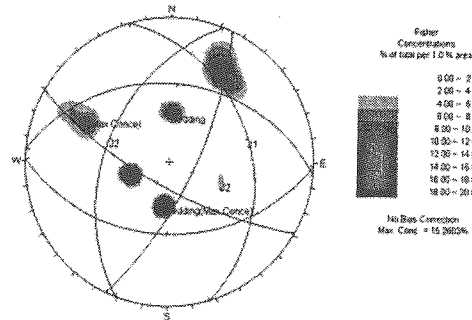
نوع سنگ	مقاومت تک محوره (MPa)	مقاومت کششی (MPa)	ضریب پواسون	مدول یانگ (GPa)
رس سنگ	۱۶	۱/۹	۰/۲۲	۲/۲۶
گل سنگ	۱۶/۱	۱/۹۵	۰/۲۲	۲/۶
ماسه سنگ	۴۱/۹	۲/۲	۰/۱۸	۱۱/۱

۴- تحلیل عددی اندرکنش هیدرو مکانیکی توده

سنگ

به منظور بررسی تاثیر بارگذاری ناشی از ساخت سد و آبدگیری آن بر تغییر نفوذپذیری در توده سنگ از تحلیلهای توام هیدرو مکانیکی به کمک نرم افزار 3DEC استفاده شده است. که مراحل آن در الگوریتم شکل ۴ تشریح شده است. تحلیل هیدرو مکانیک تنها با تحلیل هیدرولیک که روش مرسوم در تحلیل جریان در محیطهای سنگی و خاکی و طرح هایی از

موجود در توده سنگ هستند که علاوه بر میزان نفوذ پذیری در انتقال و توزیع مجدد تنش نیز سهم بسزایی دارند. مطالعه و برداشت ناپیوستگی های موجود در محدوده ساختگاه هم از سطح و هم از حفاریهای اکتشافی انجام گرفته است. برداشتها نشان دهنده ۴ دسته ناپیوستگی هستند که ۳ دسته آن درزه داری و دسته چهارم مربوط به توالی لایه ها در لایه بندی منطقه است (شکل ۳) [۲].



شکل ۳: توزیع شیب و امتداد دسته درزه های موجود در ساختگاه سد

از بین این ناپیوستگی ها لایه بندی و دسته درزه A1 به دلیل بازشدگی بیش از ۱ تا ۳ میلیمتر و فاصله داری حداکثر ۵ متر و نبود پر کننده به ویژه پرکننده های رسی دارای اهمیت بیشتری نسبت به دو دسته درزه دیگر است بعلاوه بالای ۸۶ درصد از مغزه های گرفته شده دارای RQD بالای ۵۰ می باشد که از این لحاظ سنگ در رده خوب تا متوسط جای می گیرد [۴].

۳-۳-۳- پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ

به منظور اندازه گیری خواص ژئوتکنیکی سنگهای منطقه آزمایشهای برجا و آزمایشگاهی فراوانی انجام گرفته که به مهمترین آنها و نتایج آن اشاره می شود.

۳-۳-۱- مدول تغییر شکل پذیری

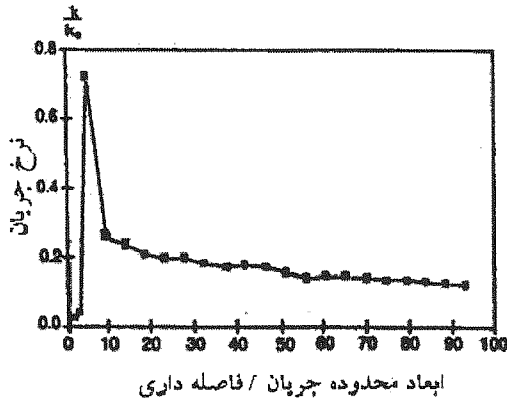
به منظور محاسبه مدول تغییر شکل پذیری از آزمایش بارگذاری صفحه ای با صفحات صلب و انعطاف پذیر و آزمایش دیلاتومتر با پکر انعطاف پذیر و در اعماق مختلف استفاده شده است که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است [۵].

جدول ۱: نتایج مدول دگرشکلی با آزمایش بارگذاری صفحه ای

سازند	بارگذاری افقی	بارگذاری قائم
آغاچاری	$E_{def} (Mpa)$	$E_{def} (Mpa)$
	۱۸۷۷	۶۳۹

بر این اساس سازند دارای رفتار آنیزوتروپ و مدول دگر شکل پذیری حدود ۳ برابر در راستای افقی نسبت به راستای قائم است.

و ویدرسپون در مورد ابعاد بلوک مورد آزمایش در آزمایشهای نفوذپذیری انتخاب شده است [۶]. این دو محقق بر اساس نتایج آزمایشهای خود روی بلوکهای سنگی با ابعاد و درزه داری مختلف رابطه شماره ۱ را در مورد کوچکترین بعد نمونه مورد آزمایش در آزمایش نفوذپذیری بیان کردند.

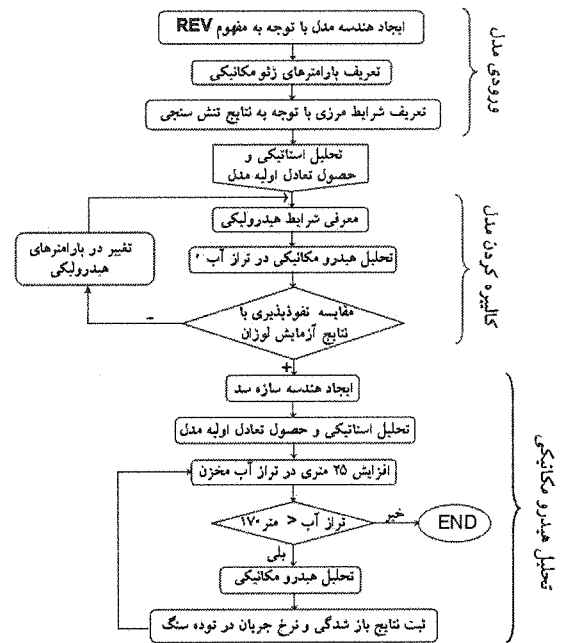


شکل ۵: نتایج آزمایشهای لانگ و ویدرسپون روی ابعاد بلوک در آزمایش نفوذپذیری

$$D_{REV} = (10 \approx 20)S_{ao} \quad (1)$$

در این رابطه D_{REV} کوچکترین بعد نمونه و S_{ao} فاصله داری متوسط توده سنگ است. حتی اگر از لحاظ فنی ممکن باشد، انجام آزمایش با ابعاد بزرگتر از $20 \times S_{ao}$ لازم نیست، زیرا نمی‌توان درستی داده‌ها را افزایش چشمگیری داد. بنابراین این ابعاد مدل ساخته شده با توجه به فاصله داری ۱ تا ۵ متر دسته درزه‌ها به صورت بلوک با پهنای ۱۰۰ و ارتفاع ۳۷۸ متر (۲۰۰ متر پی و ۱۷۸ متر بدنه سد) و ۹۰۰ متر طول در نظر گرفته شده است همچنین به دلیل تقارن سازه سد تنها نیمی از آن مدل شده به گونه‌ای که قابلیت ایجاد حداکثر تنش وارده به پی را داشته باشد (شکل ۶). چون ماکزیمم جریان نشستی در تراز حداکثر آبیگری رخ خواهد داد شرایط فشار هیدرولیکی بر اساس تراز آب حداکثر ۱۷۰ متر و معادل ۱/۷ مگا پاسکال اعمال شده است. مدل از چهار وجه کناری و کف به کمک مرزهای غلطکی محدود شده است این شرایط امکان جابجایی در مدل را با حفظ تعادل فراهم می‌کند [۷]. به دلیل نبود ساختارهای تکنیکی فعال تنش حاکم بر مدل تنها ناشی از وزن روباره است و نسبت تنش افقی به قائم بر اساس نتایج آزمایش شکاف گمانه ای ۰/۵ در نظر گرفته شده است [۵].

این قبیل است را می‌توان بدین صورت تشریح کرد که در تحلیل هیدرولیکی از تاثیر جریان سیال بر سنگ نظیر تغییر در تنش موثر و باز شدگی درزه و همچنین تاثیر تنش ناشی از توده سنگ بر سیال نظیر تغییر در چگالی سیال صرفنظر می‌شود در حالی که در تحلیل هیدرو مکانیک پیش بینی چگونگی جریان سیال در توده سنگ با در نظر گرفتن تاثیر هر دو عامل بر هم خصوصا تاثیر جریان سیال بر باز شدگی درزه انجام می‌گیرد. بعلاوه مدل شامل بلوک‌های REV به گونه‌ای انتخاب شده که معرف خصوصیات هیدرولیکی ساختگاه باشد. حل عددی نیز شامل دو مرحله کلی است: مرحله اول تعادل استاتیکی ناشی از بار وزنی بدنه و تراز آب مخزن با پی و تغییر در باز شدگی درزه‌ها است. مرحله دوم آنالیز هیدرو مکانیکی است که به صورت چند مرحله‌ای و با افزایش پلکانی تراز آب در مخزن (هر مرحله ۲۵ متر) انجام شده و در نهایت هدف از ایجاد مدل عددی و پارامترهای مورد نظر که اندازه گیری جریان نشست و میزان فرار آب از زیر سازه و محاسبه حد آب بندی است.



شکل ۴: مراحل ایجاد هندسه مدل و اعمال شرایط هیدرو مکانیکی در مدل عددی

۴-۱- ابعاد مدل و شرایط مرزی

با توجه به ابعاد بسیار بزرگ ساختگاه و محدودیت حافظه محاسباتی نرم افزار ابعاد بلوک انتخاب شده با توجه به مفهوم حجم المان معرف و بر اساس نتایج حاصل از آزمایشهای لانگ

۴-۳- محاسبه جریان نشست از روی نتایج مدل عددی

برای محاسبه دبی نشست از پی از ترکیب معادلات بنیادین جریان سیال در تک درزه های سنگی و نتایج حاصل از مدل عددی بهره گرفته شده است. بر اساس آزمایش های انجام شده دبی نفوذ جریان آب از یک تک درزه سنگی و ضریب نفوذپذیری درزه را می توان از رابط شماره ۲ محاسبه کرد [۸].

$$q = - \left[\frac{\rho g e^3}{12\mu} \right] \frac{dh}{dx} \quad (2)$$

$$k = \frac{\rho g e^2}{12\mu}$$

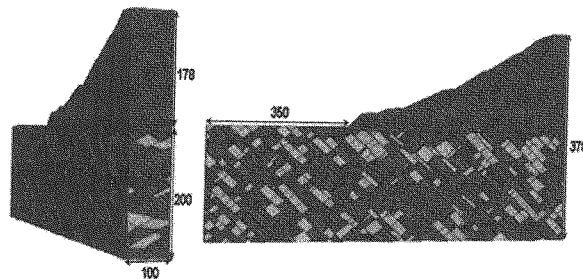
در این رابطه ρ چگالی سیال، g شتاب ثقل، e بازشدگی هیدرولیکی، μ ویسکوزیته سیال و $\frac{dh}{dx}$ اختلاف هد هیدرولیکی بین دو طرف درزه است. شکل ۸ توزیع بازشدگی هیدرولیکی در اعماق مختلف در زیر تاج سد که ناشی از فشار آب مخزن در تراز آگیری حد اکثر است را نشان می دهد. بر اساس رگرسیون منطبق بر نتایج مدل عددی رابطه بین میزان باز شدگی با عمق به صورت معادله ۳ می باشد.

$$Z = 21.129 \ln(e) + 9.45 \quad (3)$$

با باز نویسی این رابطه مقدار باز شدگی در هر عمق را می توان از رابطه ۴ محاسبه کرد

$$e_h = e^{\frac{Z-9.44}{21.129}} \quad (4)$$

در این معادلات (e_h) باز شدگی هیدرولیکی بر حسب میلیمتر، (Z) عمق بر حسب متر و (e) معکوس لگاریتم طبیعی پایه نپر است. مشابه این نمودار در خصوص تغییرات باز شدگی با عمق پیشتر توسط محققین مختلفی نظیر اسنو و بیانچی و هادسون ارائه شده است [۱۰] [۱۱]. نمودارهای ارائه شده از نظر روابط متفاوتند که این تفاوت ناشی از خواص ژئومکانیکی ساختگاه است اما شکل کلی معادلات به صورت معادلاتی لگاریتمی است که در نهایت در راستای قائم به یک مجانب قائم که منطبق بر باز شدگی باقی مانده است نزدیک می شود. از این نمودار می توان در پیش بینی و طراحی پارامتر های آب بندی نظیر عمق نفوذ آب، حد آب بندی و بررسی تزریق پذیری سازند و تعیین فشار و ویسکوزیته دوغاب استفاده کرد.



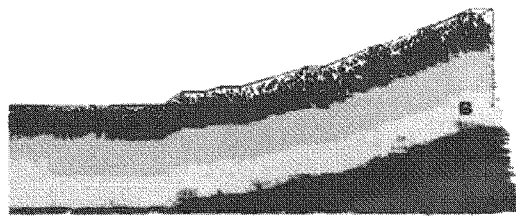
شکل ۶: هندسه مدل ساخته شده بر اساس مفهوم REV

۴-۲- تحلیل عددی

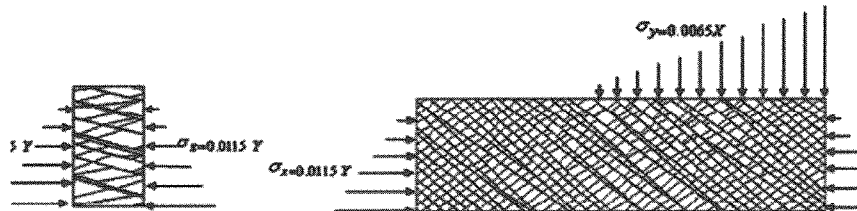
حل عددی شامل ۴ مرحله است، در مرحله اول مدل برای رسیدن به شرایط تعادل استاتیکی اجرا می شود در این مرحله مدل با همگرایی نرخ کاهش نیروی نامتعادل کننده مناسب به تعادل رسیده و جابجایی ها تثبیت می شوند. توزیع تنش در محدوده مخزن و زیر بدنه سد قبل از اعمال تنش هیدرولیکی در شکل ۹ ارائه شده است همانطور که ملاحظه می شود نرخ افزایش تنش به صورت یکنواخت و افزایشی با عمق بوده که از مقدار صفر در سطح تا حدود ماکزیمم ۹- مگا پاسکال در زیر تاج سد (ناحیه A) افزایش یافته است (عدد منفی نشانگر تنش فشاری است). میزان تنش قائم در زیر بدنه سد در سطح پی در حدود ۴- مگا پاسکال (ناحیه B) است که با نرخ ۰/۰۲۳ مگا پاسکال بر متر در راستای قائم و ۰/۰۱۱۵ مگا پاسکال بر متر در راستای افق افزایش یافته است.

پس از تعادل اولیه، در مرحله شرایط فشار منفذی اولیه موجود در سایت ناشی از تراز آب زیر زمینی که از روی نتایج پیژومترهای نصب شده در پی سد در موقعیتها و ترازهای مختلف استخراج شده و در حدود میانگین ۰/۰۰۹۴ مگا پاسکال در ازای هر ۱ متر عمق لحاظ شده است، به مدل اعمال می شود و در این مرحله اولین آنالیز هیدرو مکانیکی جهت برقراری شرایط هیدرولیکی برجا قبل از آگیری انجام می گیرد سپس در مرحله سوم تنش حاصل از تراز آب مخزن به مدل اعمال و دوباره برای ایجاد تعادل استاتیکی اجرا می شود. در نهایت در مرحله چهارم آنالیز هیدرو مکانیکی با شرایط فشار هیدرولیکی ۱/۷ مگا پاسکال به منظور بررسی عمق نفوذ و نرخ جریان نشستی از جناحین و زیر بدنه سد اجرا می شود.

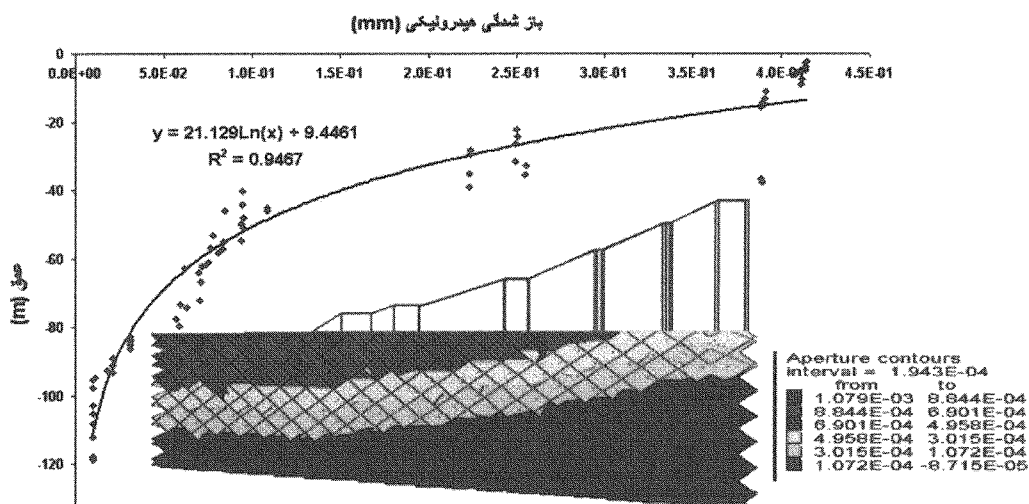




dig= 00.00 below
 dd = 00.00
 center 0.000E+00
 -1.150E+01
 1.000E+02
 cut-off 0.000E+00
 rad = 2.00
 cyste 0
 (F 10) Copy Van Print
 Case by F51 mag
 interval = 1.500E+06
 mm
 max
 -9.000E+06 7.500E+06
 -7.500E+06 -6.000E+06
 -6.000E+06 -4.500E+06
 -4.500E+06 -3.000E+06
 -3.000E+06 -1.500E+06
 -1.500E+06 0.000E+00
 Max compress stress
 -8.081E+08



شکل ۷: توزیع تنش ثقلی قبل از اعمال فشار هیدرولیکی به صورت گرافیکی و برداری



شکل ۸: توزیع بازشدگی درزه با عمق ناشی از فشار هیدرولیکی آب

عنوان حد آب بندی پی در نظر گرفت.

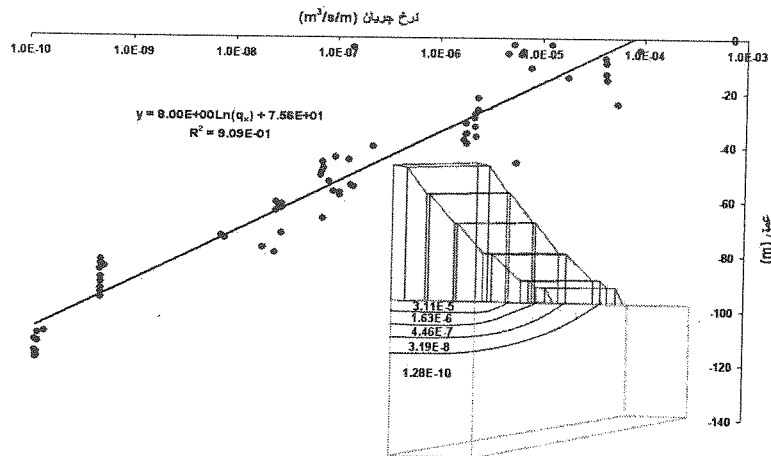
ع-ع- تعیین حد آب بندی

ع-د- روند تغییرات نفوذپذیری با عمق و تعیین حد اکثر

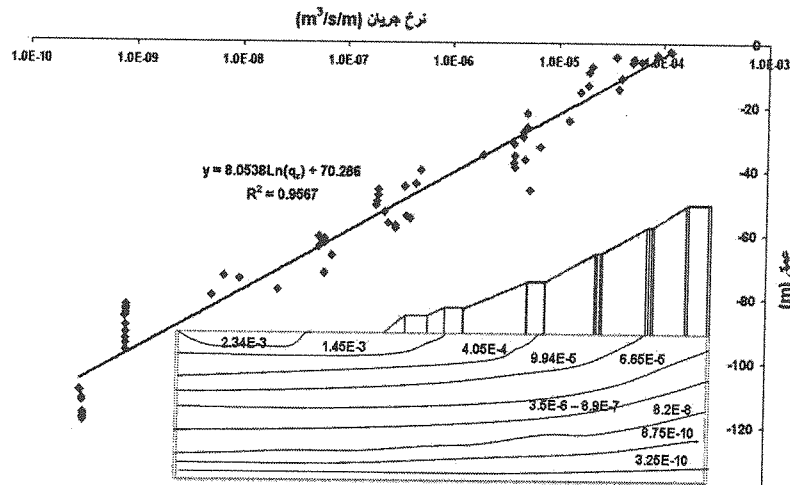
عمق نفوذ آب در پی سد

شکل‌های ۹ و ۱۰ نشانگر کاهش نرخ جریان نسبت به عمق در راستای مسیر رودخانه در زیر بدنه سد و در راستای تاج سد عمود بر مسیر قبلی است. همانگونه که ملاحظه می‌شود روند کاهش نرخ جریان با عمق به صورت یک تابع نمایی است همچنین بر اساس این نمودارها حد اکثر عمق نفوذ آب در تراز آبرگیری حد اکثر حدود ۱۱۰ متر تخمین زده می‌شود به طوری که بر اساس نتایج مدل عددی در اعماق پایین تر از ۱۱۰ متر فشار آب مخزن تاثیری بر نرخ جریان نخواهد داشت.

با توجه به مشخصات فنی آب بندی، ضریب نفوذپذیری مجاز برای رس-گراول که به عنوان هسته نفوذ ناپذیر در بدنه سد مورد استفاده قرار می‌گیرد معادل 10^{-7} (m/s) در نظر گرفته شده است اگر همین عدد نیز به عنوان ضریب نفوذپذیری مجاز برای پرده آببند در نظر گرفته شود با فرض کارایی ۱۰٪ پرده آببند مقدار باز شدگی معادل در این ضریب نفوذپذیری بر اساس رابطه ۲ معادل 0.11 میلی‌متر بر آورد می‌شود. با جایگذاری این عدد در رابطه ۴ که پیش بینی باز شدگی هیدرومکانیکی پس از آبرگیری در اعماق مختلف بر اساس مدل عددی است عمق مربوط به این مقدار باز شدگی معادل ۸۵ متر محاسبه می‌شود که این عدد را می‌توان در طراحی اولیه به



شکل ۹: روند تغییرات نرخ جریان با عمق در امتداد عمود بر مسیر رودخانه

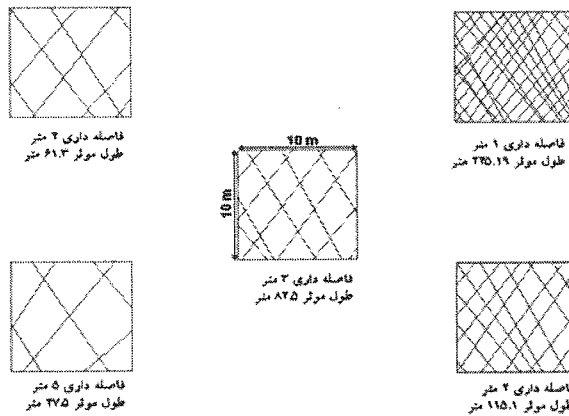


شکل ۱۰: روند تغییرات نرخ جریان با عمق در امتداد مسیر رودخانه

گیری به عمل آمده، طول موثر درزه ها به صورت غیر خطی با فاصله داری تغییر می کند بر این اساس در محدوده سایت طول موثر درزه را می توان حد اقل ۰/۴۷ (معادل فاصله داری ۵ متر) و حد اکثر ۲/۴۵ متر (معادل فاصله داری ۱ متر) بر واحد سطح توده سنگ در مقطع قائم تخمین زد. سطح مقطع عبور جریان در پی سد در حدود ۳۲۰ متر طول و با توجه به عمق نفوذ محاسبه شده در تراز آبیگری حد اکثر، ۱۱۰ متر عمق دارد. در این صورت طول موثر درزه ها در مدل اصلی با فرض فاصله داری ۱ تا ۵ متر بین ۸۶۲۴۰ تا ۱۶۴۵۵ متر خواهد بود. با ضرب دبی جریان از مدل عددی در طول موثر درزه ها در مدل اصلی، دبی جریان نشستی در امتداد مسیر رودخانه از زیر تاج سد با فرض اجرا نکردن پرده آب بند بین ۲/۲۰ تا ۱۶/۸۰ متر مکعب بر ثانیه پیش بینی می شود.

ع-۶- محاسبه دبی نشست

نتایج مدل عددی به صورت نرخ جریان و با واحد متر مکعب بر ثانیه در ازای واحد طول درزه است. برای اندازه گیری دبی نشست با ضرب طول موثر درزه که معادل جمع جبری طول درزه ها در یک مقطع قائم بر مسیر جریان در هر امتداد است، در نرخ جریان عبوری از درزه ها می توان دبی نشست در هر امتداد را بر اساس متر مکعب بر ثانیه اندازه گیری کرد. با توجه به ابعاد بسیار بزرگ مدل اصلی، اندازه گیری طول موثر درزه ها در به کمک شبیه سازی طول درزه ها در یک مدل کوچکتر و سپس تعمیم آن به مدلی با ابعاد حقیقی صورت گرفته است. شکل ۱۱ نشانگر نمونه ای با ابعاد ۱۰ متر است که با دو درزه اصلی با شیب و امتداد و فاصله داری اندازه گیری شده در محل که بر اساس گزارشات زمین شناسی بین ۱ تا ۵ متر متغیر بوده شبیه سازی شده است. بر اساس اندازه



شکل ۱: شبیه سازی طول موثر درزه در مقاطع قائم با فرض فاصله داری متغیر

۵- نتیجه گیری

را پیش بینی کرد و بر این اساس طراحی بهینه ای را در مورد طرح های عمرانی مرتبط با آن انجام داد.

۳- بر اساس نتایج مدل عددی در مورد سد گتوند علیا با توجه به شیب و امتداد و مقادیر زیاد باز شدگی درزه همچنین اختلاف فشار هیدرولیکی نزدیک به $1/7$ مگا پاسکال بین مخزن و پایین دست رودخانه دبی نشت از پی سد بین $2/2$ الی $16/8$ متر مکعب بر ثانیه خواهد بود.

۴- با توجه به نتایج مدل عددی از پیش بینی وضعیت این سد در آینده حد آب بندی ۸۵ متر پیشنهاد می گردد که با توجه به نزدیکی نتایج مدل عددی با نتایج تست لوزان گزارش شده در مطالعات تکمیلی در محدوده پی سد انتظار می رود پیش بینی درستی از رفتار توده سنگ بعد از آبیگری سد به عمل آمده باشد.

۱- با توجه به تاثیر متقابل سیال و توده سنگ در حین جریان سیال از یک محیط سنگی و تطابق بیشتر آنالیز هیدرو مکانیکی با آنچه در طبیعت رخ می دهد همچنین تفاوت نتایج بررسی میزان جریان سیالات در آنالیز هیدرولیک و هیدرو مکانیک [۹] [۱] [۲] توصیه می شود در تحلیل طرح های مهندسی بر خلاف آنچه در گذشته صورت می گرفت از تحلیل توأم هیدرومکانیک به جای تحلیل هیدرولیکی استفاده شود

۲- به کمک نتایج مدل عددی و ترکیب آن با روابط بنیادین در خصوص جریان سیالات در محیطهای سنگی می توان بسیاری از پارامترهای هیدرولیکی توده سنگ نظیر باز شدگی، نرخ جریان، ضریب نفوذپذیری و فشار سیال در اعماق مختلف

۶- مراجع

- [۱] ناطقی، رضا؛ " تحلیل اندر کنش هیدرومکانیکی توده سنگ درزه دار پی سد گتوند علیا"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸۶.
- [۲] شریف زاده، مصطفی؛ کارگر، ساحره؛ " تحلیل هیدرولیکی - هیدرومکانیکی توده سنگ اطراف تونل با استفاده از روش المان مجزا"، کنفرانس هفتم تونل ایران، ۱۳۸۵، ص ۵۴۰-۵۴۵.
- [۳] Mahhab ghodss /coyneet bellier, Geology of the project area : upper gotvand dam & HEPP . rev.A, 2005.
- [۴] Mahab Godss/coyneet bellier, geotechnical characteristics of the dam foundation, rev.A, 2004.
- [۵] Moshanir, Khak&sang co ,Upper gotvand dam & powerhouse ,Rock mechanics tests report ,rev.A, 2003.
- [۶] Wang, M ; Kulatilake , P.H.S.W " Estimation of REV size and three-dimensional hydraulic conductivity tensor for a fractured rock mass through a single well packer test and discrete fracture fluid flow modeling "International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 39 , (2002) , pp 887-904.
- [۷] Itasca consulting group, 3DEC users guide, ver.4.00, Minnesota, 200.
- [۸] Sharifzadeh M., Esaki T., Mitani Y. "A review of Coupling processes in rock fractures with emphasis on Hydromechanical shear - flow coupling" pp.205-213, Proceedings of the 3rd Iranian International Conference on Geotechnical Engineering and Soil Mechanics December 9-11, 2002 Tehran, Iran.
- [۹] Ivars.D. M . "Water inflow into excavations in fractured rock-a three-dimensional hydro-mechanical numerical study". International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 43, 2006, pp 705-725.
- [۱۰] Oda, M. Matsuyama, Y. " Permeability tensor for jointed rock mass". International symposium on fundamentals of joints, 1985, pp 303-312.
- [۱۱] Wei, Z. Hudson, J. "Permeability of jointed rock mass". Rock Mechanic and Power Plants, Balkema, 1988, pp 613-626.