

ارزیابی عددی تأثیر و عملکرد مخزن متعادل کننده چکش آبی بر پوشش

تونل‌های انتقال آب به توربین سدهای بتنی

حمیدرضا وثوقی^۱ و علیرضا دانشخواه^۲

چکیده: در این مقاله با استفاده از ارزیابی عددی، تأثیر شفتهای متعادل کننده چکش آبی بر پوشش تونل‌های آب بر مورد بررسی قرار گرفته است. در صورت عدم تعبیه این مخازن، پوشش تونل به واسطه نیروهای سیکلی چکش آبی خسارت بسیار زیادی خواهد یافت در این تحقیق با استفاده از روشهای عددی و نرم افزارهای Plaxis 3D Tunnel و RocSupport و Roclab، عملکرد مخزن متعادل کننده چکش آبی بر پوشش تونل‌های آب به توربین سدها شبیه‌سازی شده است. در بررسی عددی طیف ورودی جریان شبه سینوسی چکش آبی مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در صورت عدم استفاده از مخزن متعادل کننده چکش آبی، منطقه شعاع پلاستیک اطراف تونل به میزان ۱۰۵ درصد افزایش یافته است و در صورت استفاده از مخزن متعادل کننده چکش آبی شعاع ناحیه پلاستیک فقط به میزان ۵ درصد کاهش یافته است. از این رو در تونلهای انتقال آب تحت فشار برای توربین ها، استفاده از مخازن متعادل کننده چکش آبی قویاً توصیه شده است.

کلید واژه: چکش آبی، پوشش، بررسی عددی، تونل انتقال آب

۱- مقدمه

غیر خطی و دینامیکی نیروگاهها را در تمام حالتها در اثر پدیده چکش آبی و تأثیر مخزن متعادل کننده بر روی آن مورد بررسی قرار دادند [۱]. فرانزن و همکاران (Franzen. et al) در سال ۲۰۰۱ به بررسی شاتکریت استفاده شده در پوشش تونل‌های زیرزمینی و زیردریایی پرداختند [۲]. سوها سیوک (Suha sevuk) در سال ۲۰۰۳ اثر کاهنده مخزن متعادل کننده را بر چکش آبی بوجود آمده در شبکه توزیع آب شهری در دو حالت جریان دائمی و غیر دائمی مورد بررسی قرار داد [۳]. بنسن (Benson) در سال ۲۰۰۳ تأثیر کاهنده مخزن تعادل را بر روی نوسانات هیدرولیکی بوجود آمده در تونلهای آب بر مورد بررسی قرار داد و اقتصاد طرح را در اولویت قرار داد و پوشش‌هایی نظیر سنگ پیچ، شاتکریت و بتن را برای پایداری تونل مورد استفاده قرار داد [۴]. اینادا و همکاران (Inada et al) و در سال ۲۰۰۳ به بررسی اثر مخزن تعادل با استفاده از معادلات کرکتری بر جریان آب داخل تونلهای تحت فشار پرداختند [۵]. بوبت (Bobet) در سال ۲۰۰۳ با استفاده از برنامه Plaxis به بررسی عددی اثر فشار آب منفذی در هنگام وقوع بارهای خطی و غیر خطی بر روی پوشش و شعاع پلاستیک تونلها پرداخت [۶]. محمود و همکاران (Mahmoud et al) در سال ۲۰۰۴ به بررسی کنترل چکش آبی بوجود آمده در نیروگاه آبی بوسیله سیستم کنترل پرداختند که در این حالت مخزن متعادل کننده، فشار ناشی از پدیده چکش آبی را به آرامی کاهش داده است و در این راستا یک مدل جدید دینامیکی برای

پدیده چکش آبی در خطوط انتقال تحت فشار اتفاق خواهد افتاد و بر پایه قوانین فشار، تغییرات دبی یا تغییرات سرعت جریان و شرایط مکانی و زمانی حرکت سیال استوار است. در سیستمهای هیدرولیکی تحت فشار نظیر خطوط انتقال آب، نفت یا شبکه توزیع و لوله‌های آب بر منتهی به توربین ها، تونلهای آبی، سیستم پمپاژ و جریانهای ثقلی، پدیده چکش آبی با ایجاد موجهای سریع، میرا و زودگذر موجب خطرات زیادی اعم از ترکیدن خط لوله در سیستم انتقال و شبکه توزیع و خرابی و شکستن شیرها، دریچه‌های کنترل و پمپها گردیده است. در اثر تکرار پدیده، خسارت وارده در زمان بهره برداری موجب کاهش کارایی سیستم و در نهایت به خطوط لوله، شیر آلات، و دریچه‌ها و پمپها و توربین و سازه‌های هیدرولیکی و تاسیسات مکانیکی آسیب رسانده است. لذا لازم است در کلیه طرحهای انتقال آب پدیده چکش آبی مطالعه شود و با شناخت کامل پدیده اثرات آن کنترل و تمهیدات لازم اتخاذ گردد. به دلیل پیچیده بودن جریان غیر ماندگار چکش آبی و ناشناخته بودن آن تا اواسط قرن نوزدهم و ضرورت بررسی این پدیده در سیستمهای هیدرولیکی تحت فشار در این خصوص مطالعات زیادی انجام شده است [۲۰]. منصور و همکاران (Mansoor et al) در سال ۲۰۰۰ به روش عددی رفتار

۱. استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد عمران سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب (Vosoughifar@Gmail.com)

رفتار شمعیهای منفرد و گروهی یک سر آزاد با استفاده روش المان محدود سه بعدی پرداختند. آنها در این راستا از نرم افزار Foundation Plaxis 3D استفاده کردند [۱۸]. در این تحقیق با استفاده از روشهای عددی و نرم افزارهای Plaxis 3D Tunnel و RocSupport و Roclab، عملکرد مخزن متعادل کننده چکش آبی بر پوشش تونل های آب به توربین سدها شبیه سازی شده است.

۲- روش تحلیل چکش آبی

برای محاسبه اثر مخزن تعادل بر چکش آبی از روشهای عددی مانند تفاضل محدود (Finite Difference) و حجم محدود (Finite Volume) استفاده شده است. این روشها بطور گسترده در تحلیل جریانهای غیرماندگار استفاده شده و از انعطاف پذیری قابل توجهی برخوردارند، بطوریکه در سیستمهای پیچیده نیز قابل استفاده هستند. مزیت عمده این روش ها تئوری ساده آن است که از بسط تیلور بدست آمده است. روش تفاضل محدود به دو دسته مستقیم و تقریب متوالی تقسیم بندی شده است. در این مقاله از روش حل مستقیم استفاده شده است، در این روش اگر فاصله زمانی باشد و طی آن به اندازه و به اندازه تغییر کند، رابطه های (۱) تا (۵) به قرار زیر است:

$$v_m * A_t = A_s * \frac{\Delta z}{\Delta t} + Q_m \quad (1)$$

$$\frac{L}{g} * \frac{\Delta v}{\Delta t} + z_m + c |v_m| v_m + c_s |v_s| v_s = 0 \quad (2)$$

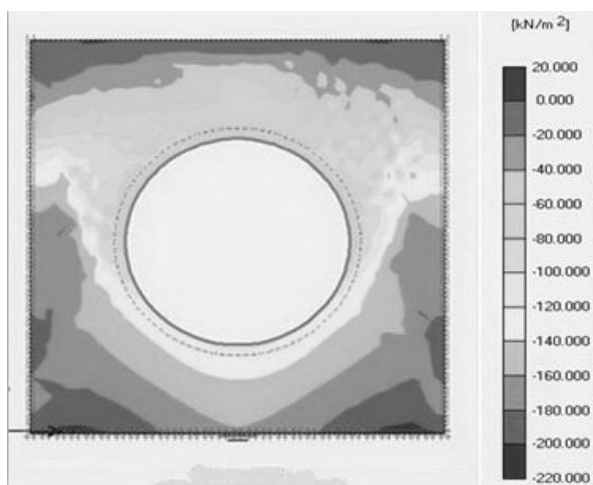
در روابط فوق، و به ترتیب سرعت و دبی متوسط، سطح مقطع تونل، سطح مقطع مخزن متعادل کننده، تغییرات ارتفاع آب در مخزن متعادل کننده، بازه زمانی، طول تونل آب بر و شتاب ثقل زمین است.

برای حل معادلات بالا، با جایگذاری رابطه $v_m = v_i + \frac{\Delta v}{2}$ در رابطه (۱) مقدار زیر بدست آمده است:

$$\Delta z = \frac{\Delta t}{A_s \left(v_i A_t + \frac{A_t}{2} \Delta v - Q_m \right)} \quad (3)$$

آبشار مخزن نیروگاه آبی تهیه شد و تمام محاسبات انجام شده بصورت غیر خطی بود [۷]. ناند کیشور (Nand Kishor et al) در سال ۲۰۰۵ به بررسی تأثیر ستون آب مخزن سد بر روی لوله های انتقال آب به توربین ها پرداختند و دریافته اند که اگر ابتدا و انتهای مسیر در نظر گرفته شود معادلات استفاده شده جواب نادرستی را خواهد داد. آنها از روش تقریبی (H-Infinity) و از معادلات خطی مرتبه ۲ (LQ) استفاده کردند و بر این اساس با کم کردن فاصله زمانی بین تکرار عملیات، یک جریان غیر دائمی و غیر خطی به جریانی دائمی و خطی تبدیل شده است [۸]. لویز دآلمیدا (Lopes de Almeida et al) در سال ۲۰۰۶ تجهیزاتی از نیروگاههای کوچک برقآبی مانند تونلهای آب بر و لوله های انتقال آب به سمت توربین ها (Penstocks) را تحت جریان غیر دائمی مدل سازی کردند و اثر باز دارنده مخزن متعادل کننده در انتقال چکش آبی به تونل آب بر را با استفاده از معادلات کرکتری بررسی نموده و با استفاده از برنامه ریزی غیر خطی (NLP) مدل نیروگاههای کوچک برقآبی را بهینه سازی کردند [۹]. شریعتمداری (Shariatmadari, et al) در سال ۲۰۰۶ به بررسی نشست زمین در اثر خرابکاری تونل متروی تبریز با استفاده از نرم افزار Plaxis پرداختند [۱۰]. اردوگدو (Erdogdu et al) در سال ۲۰۰۷ به بررسی عکس العمل مخزن تعادل در برابر موج ناشی از چکش آبی در تونلهای آب بر پرداختند [۱۱]. ناند کیشور (Nand Kishor) در سال ۲۰۰۸ اثر خنثی کنندگی چکش آبی بوسیله مخزن متعادل کننده در لوله های انتقال آب به سمت توربین ها در نیروگاههای آبی را مورد بررسی قرار داده است. در زمینه پیشگویی غیر خطی (NPC) از الگوریتم های لونبرگ - مارکوات (L-M) و شبه نیوتنی (QN) استفاده شده است و برای بهینه سازی از شاخص نگهداری کنترل (CPI) استفاده کردند. ضمناً در زمینه پیشگویی خطی از شبکه عصبی (NN) که مبتنی بر تئوری لحظه ای است، استفاده شده است [۱۲]. رابرت (ROBERT) در سال ۲۰۰۸ اثر چکش آبی را بر پوشش های شیمیایی (رزین ها) تونل های آب بر مورد بررسی قرار داد [۱۳]. همکاران و چیبیر (Chibber et al) در سال ۲۰۰۸ اثر یخ زدگی و مقایسه تأثیر آن با چکش آبی را بر پوشش تونلهای آب بر مورد بررسی قرار دادند [۱۴]. ساتو (SATO et al) و همکاران در سال ۲۰۰۸ به بررسی اثر چکش آبی بر پوشش آزیستی تونل های آب پرداختند [۱۵]. کاسپر (Kasper et al) و همکاران در سال ۲۰۰۸ به بررسی پایداری تونلهای زیر اعماق آب و سواحل با استفاده از نرم افزارهای PlaxFlow, Plaxis پرداختند [۱۶]. ریفات (M. Rifat) و کاهیاوغلو (Kahyaoglu et al) و همکاران در سال ۲۰۰۹ به مطالعه عددی

سیمره [۱۹] گرفته شده است. با استفاده از برنامه **Plaxis 3D Tunnel** از مجموعه نرم افزارهای شرکت **Koxhiyoki Kabuto, Japan** یک جزء از توده سنگ منطقه در نظر گرفته شده است و تونلی به شعاع ۵/۵ متر به شیوه حفاری (NATM) در آن ترسیم شده است. شرایط مرزی استاندارد که بوسیله نرم افزار برای معرفی مرز خارجی المان مورد نظر تعریف گردیده، به مدل اختصاص داده شده است و اجزاء توده سنگ و دیواره تونل تعریف گردیده است. در برنامه **Plaxis 3D Tunnel** از المانهای ۶ گرهی، مش بندی ریزو ضخامت واحد متر استفاده شده است. با توجه به شرایط منطقه، بار الاستیک و بار آبی کل، که در مدت ۶۰ ثانیه متغیر است به مدل اختصاص داده شده است. مدل مش بندی ۲ و ۳ بعدی شده است و شرایط مرزی برای مدل تعریف و اختصاص داده شده است. حالا نوبت به آنالیز مدل رسیده است. با استفاده از فزیندی دقیق و گام به گام مدل محاسبه شده و از آنجا که تنش موثر فرعی بیشینه مد نظر است پس در طی ۶۰ ثانیه تنشهای موثر فرعی ماکزیمم مورد محاسبه قرار گرفته است. به تجربه دیده شده است که تغییرات تنش موثر فرعی ماکزیمم ناچیز است یعنی تقریباً در هر ۱۰ ثانیه در یک محدوده قرار دارد، پس نمودار گرافیکی آن به صورت زیر درآمده است.



شکل ۱- خروجی گرافیکی تنشهای موثر وارد بر تونل آب بردر ثانیه اول

همچنین معادلات
$$v_s = \frac{\Delta z}{\Delta t} = \frac{1}{A_s \left(v_i A_t + \frac{A_t}{2} \Delta v - Q_m \right)}$$

در رابطه شماره (۲) جایگذاری شده است معادله
$$z_m = z_i + \frac{\Delta z}{2}$$

درجه دوم جبری و در نظر گرفتن ثابتهای
$$c_1 = \frac{fL}{2gD} + \left(\frac{A_t}{A_s} \right)^2$$

و
$$b = \frac{L}{g\Delta t} + \frac{A_t}{4A_s} \Delta t + c_1 v_i$$
 و
$$a = \frac{c_1}{4}$$

برای سهولت کار، حل شده است و
$$c = z_i + \frac{A_t}{2A_s} v_i \Delta t + c_1 v_i^2$$

از آنجا که $Q_m = 0$ ، یعنی جریان متوقف شده است پس:

$$\Delta v = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (4)$$

با استفاده از روابط (۳) و (۴) روابط (۵) بصورت زیر بدست آمده است:

$$v_{i+1} = v_i + \Delta v \quad z_{i+1} = z_i + \Delta z \quad (5)$$

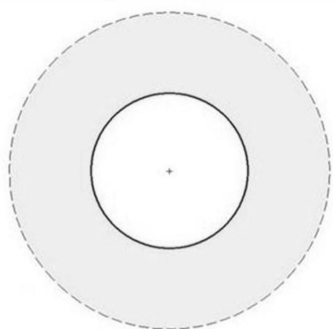
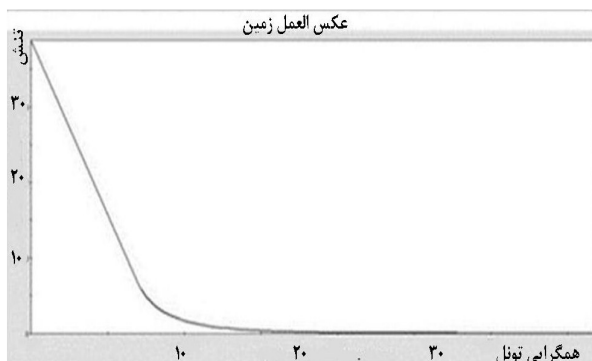
برای ادامه محاسبات مقادیر v_{i+1} و z_{i+1} را به عنوان مقادیر جدید و در معادلات قرار داده و محاسبات به روش بالا تکرار شده است. [۱۷] در معادلات بالا، سرعت آب داخل تونل آب بر حسب متربر ثانیه $\left(\frac{m}{s}\right)$ و Δv میزان تغییرات آن، ارتفاع آب داخل مخزن متعادل کننده بر حسب متر و تلورانس آن فاصله زمانی محدود بر حسب ثانیه و معرف مقدار متوسط هر کمیت در طول فاصله زمانی است.

۳- بررسی اثر مخزن متعادل کننده چکش آبی بر تونل آب بر

مخزن تعادل با ایجاد یک سطح آزاد در استوانه مخزن موج گیر سبب شده است تا در هنگام وقوع فشار منفی ناشی از چکش آبی، با تغذیه آب از این مخزن به درون تونل آب بر، فشار سیستم متعادل گردد و یا در هنگام ایجاد فشار مثبت، مقداری از فشار جریان آب درون تونل آب بر را کاهش دهد، این امر سبب جلوگیری از انهدام تونل آب بر و شیر آلات و پره‌های توربین شده است.

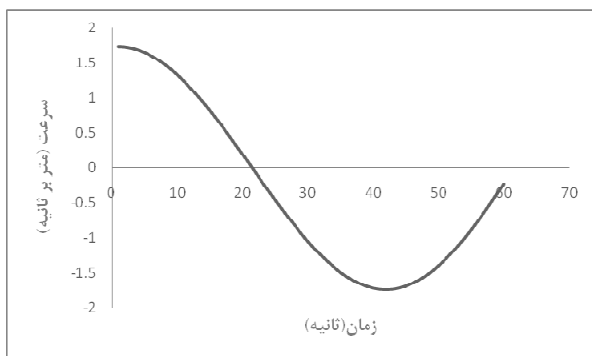
۴- بررسی عددی اثر مخزن متعادل کننده بر شعاع پلاستیک تونل آب بر

برای بررسی اثر مخزن تعادل بر شعاع پلاستیک اطراف تونل آب بر، اطلاعات مورد نیاز از یک نمونه در حال ساخت مانند تونل آب بر سد

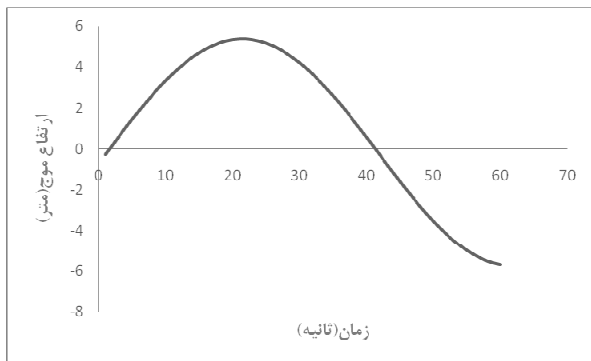


عنوان پروژه
ونوفی فرو و دانشخواه
شعاع تونل ۵ متر
تنش: ۳۸/۸۸۸ مگاپاسکال
شعاع ناحیه پلاستیک: ۱۱/۲۲ متر
همگرایی تونل: ۲۶/۷۶ درصد

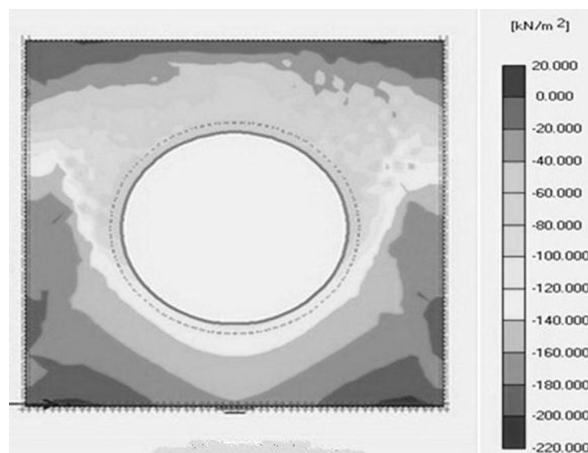
شکل ۳- خروجی گرافیکی شعاع پلاستیک تونل آب بردر ثانیه اول



شکل ۴- نمودار تغییرات سرعت آب در تونل در ۶۰ ثانیه



شکل ۵- نمودار تغییرات ارتفاع موج در مخزن متعادل کننده در ۶۰ ثانیه اول



شکل ۲- خروجی گرافیکی تنشهای موثر وارد بر تونل آب بردر ثانیه دهم

از جدول خروجی، تنش حداکثر موثر فرعی ($\sigma_{yy} = \sigma_{3max}$) استخراج شده است. با قرار دادن تنش موثر در برنامه Roclub از سری برنامه‌های شرکت Rocscience Inc مقدار مقاومت چسبندگی (C) زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ (Φ) بدست آمده است. با قرار دادن (C) و (Φ) در برنامه Rocsupport از مجموعه برنامه‌های شرکت Rocscience Inc مقدار شعاع پلاستیک غیر مسلح محاسبه شده است. شکل ۱ و ۲ به ترتیب بیانگر خروجی این برنامه در ثانیه اول و دهم است. تغییرات سرعت آب در تونل در مدت ۶۰ ثانیه در شکل ۳ و تلورانس ارتفاع موج در مخزن متعادل کننده در مدت ۶۰ ثانیه در شکل ۴ و تغییرات انرژی کل در مخزن متعادل کننده در مدت ۶۰ ثانیه در شکل ۵ نشان داده شده است. تونل به بازه‌های زمانی یکسان و کوچک تقسیم شده است پس جریان غیر دائمی و غیر خطی به جریانی خطی و دائمی تبدیل شده است و مورد تحلیل قرار گرفته است. محاسبات بر اساس ۶۰ ثانیه اول است. در پایان به مقایسه شعاع پلاستیک در اثر چکش آبی در بازه زمانی معین ۱ ثانیه زمانی که مخزن متعادل کننده وجود داشته دارد با حالتی که مخزن متعادل کننده موجود نباشد، پرداخته شده است. ضمناً تاثیر مخزن متعادل کننده بر شعاع پلاستیک تونل آب بر در ۶۰ ثانیه اول در شکل ۷ نشان داده شده است.

۲۰ جهت جریان عوض شده است پس سرعت در ثانیه ۴۰ به حداکثر مقدار رسیده است. از ثانیه ۴۰ جریان سیر نزولی طی کرده است تا در ثانیه ۶۰ متوقف شود و تغییر جهت بدهد.

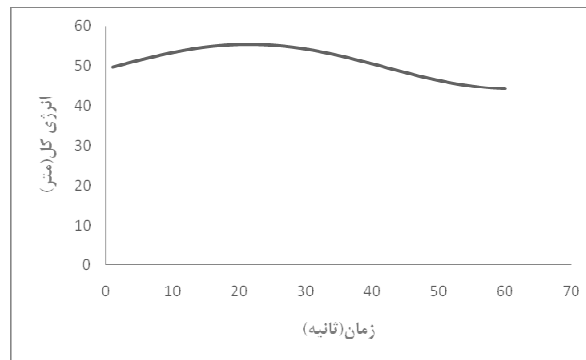
- بر اساس شکل ۵، ارتفاع موج سینوسی داخل مخزن تعادل در ۴۰ ثانیه اول افزایش یافته است و در ثانیه ۲۰ به حداکثر مقدار خود رسیده است، از ثانیه ۴۰ تا ۶۰ همچنان سیر نزولی خود را سپری کرده است تا در ثانیه ۶۰ شاهد حداقل ارتفاع موج سینوسی داخل مخزن تعادل باشیم.

- از شکل ۶، مشاهده شده است که انرژی کل مخزن متعادل کننده در ۲۰ ثانیه اول از مقداری ثابت افزایش یافته است و به حداکثر مقدار خود در ثانیه ۲۰ رسیده است، تا ثانیه ۶۰ سیر نزولی طی کرده است و در ثانیه ۶۰ به حداقل مقدار رسیده است.

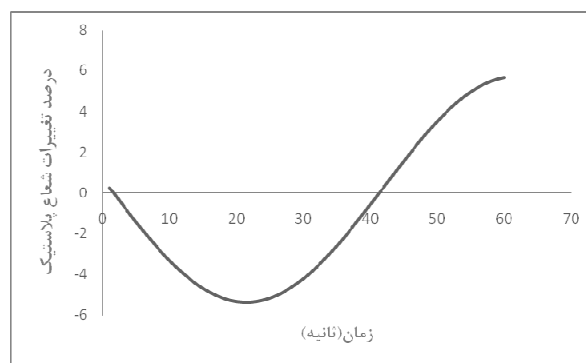
- با مشاهده شکل ۷، درصد تغییرات شعاع پلاستیک در ۲۰ ثانیه اول منفی است یعنی شعاع پلاستیک کاهش یافته است و این کاهش در ثانیه ۲۰ به حداکثر مقدار خود رسیده است و از ثانیه ۲۰ تا ۴۰ شعاع پلاستیک افزایش یافته است (ولی هنوز منفی است) تا در ثانیه ۴۰ درصد تغییرات شعاع پلاستیک ۰ شود. از ثانیه ۴۰ تا ۶۰ شاهد افزایش شعاع پلاستیک خواهیم بود.

مراجع

1. Mansoor, S.P., Jones, D.I., Bradley, D.A., Aris, F.C., Jones, G.R (2000), "Reproducing oscillatory behaviour of a hydroelectric power station by computer simulation". Control Engineering Practice, 8 (11), p.1261-1272.
2. Franzen, T., Garshol, K.F., Tomisawa, N.(2001), "Sprayed concrete for final linings". Tunneling and Underground Space Technology, 16 (4), p.295-309.
3. Suha sevu,(2003), "steady and unsteady flow simulation in pipe networks". Advances in Engineering Software (1978), 1 (3), p.107-113.
4. Benson, R.P,(2003), "Design of unlined and lined pressure tunnels". Tunneling and Underground Space Technology, 4 (2), p.155-170.
5. Inada, F., Nishihara, T., Yasuo, A., Morita, R., Sakashita, A., Mizutani, J,(2003), "Self-excited



شکل ۶- نمودار تغییرات انرژی کل در مخزن متعادل کننده در ۶۰ ثانیه اول



شکل ۷- نمودار تاثیر مخزن متعادل کننده بر شعاع پلاستیک تونل آب بر در ۶۰ ثانیه اول

قابل ملاحظه است که در بازه زمانی معین با افزایش موج شبه سینوسی چکش آبی، مخزن متعادل کننده با افزایش ارتفاع سعی بر کنترل آن دارد پس تغییرات شعاع پلاستیک بصورت شکل ۶ خواهد بود.

۵- نتیجه گیری

- می توان اظهار نمود که در صورت عدم استفاده از مخزن متعادل کننده، منطقه شعاع پلاستیک اطراف تونل به میزان ۱۰۵ درصد افزایش خواهد یافت.
- به نظر می رسد که در صورت استفاده از مخزن متعادل کننده چکش آبی فقط شعاع ناحیه پلاستیک به میزان ۵ درصد کاهش یافته است. از این رو در تونلهای انتقال آب تحت فشار برای توربین ها، استفاده از مخازن متعادل کننده چکش آبی قویاً توصیه شده است.
- با توجه به شکل ۴، نوسان سرعت آب در تونل آب بر در ۲۰ ثانیه اول از حداکثر مقدار به مقدار ۰ در ثانیه ۲۰ نزول می کند و از ثانیه

- inhibitors",. UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE PRE-GRANT PUBLICATION.
15. SATO, Motoyasu , SANO, Yoshifumi , MATSUI, Kenichi , KOIZUMI, Masashi , MORITA, Takashi,(2008)," METHOD FOR MODIFICATION OF ASBESTOS "Inter-University Research Institute National Institutes of Natural Sciences ; Kubota Matsushitadenko Exterior Works, Ltd.
 16. Kasper, T. , Steenfelt, J.S. , Pedersen, L.M. , Jackson, P.G. , Heijmans, R.W.M.G,(2008), "Stability of an immersed tunnel in offshore conditions under deep water wave impact ".Coastal Engineering, 55 (9), p.753-760.
 17. M. Rifat Kahyaoglu& Gökhan Imancli& A. Ugur Ozturk & Arif S. Kayalar,(2009)," Computational 3D finite element analyses of model passive piles". Computational Materials Science, 46 (1), p.193-202
- ۱۸- محمد حسین حامدی،(۱۳۸۰)، "هیدرولیک لوله ها"، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
- ۱۹- پایگاه اینترنتی شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران
- ۲۰- م.ک. کریمی،(۱۳۸۷)، " مطالعه عددی پدیده ضربه قوچ در سیستمهای آبگیر تحتانی سد مخزنی قشلاق با نرم افزار Hammer"، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات.
6. Bobet, A. ,(2003), "Effect of pore water pressure on tunnel support during static and seismic loading". Purdue University, West Lafayette, IN, USA Tunneling and Underground Space Technology, 18 (4) p.377-393.
 7. M. Mahmoud, K. Dutton and M. Denman,(2004),"Dynamical modelling and simulation of a cascaded reservoirs hydropower plant". Electric Power Systems Research, 70 (2), p.129-139.
 8. Nand Kishor, S.P. Singh, and A.S. Raghuvanshi,(2005),"Dynamic simulations of hydro turbine and its state estimation based LQ control". Energy Conversion and Management, 47 (18), p.3119-3137.
 9. Lopes de Almeida, J.P.P.G. , Henri Lejeune, A.G. , Sa Marques, J.A.A. , Conceicao Cunha,(2006),"OPAH a model for optimal design of multipurpose small hydropower plants". Advances in Engineering Software, 37 (4), p.236-247.
 10. Shariatmadari, N. , Chaichi, P. , Moazami, M,(2006), "The survey of ground surface settlement caused by cut and cover tunnel excavation in Tabriz subway ".Tunnelling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research, 21 (3), p.455-455.
 11. Erdogdu, F. , Ferrua, M. , Singh, S.K. , Paul Singh, R,(2007)," Air-impingement cooling of boiled eggs: Analysis of flow visualization and heat transfer". Journal of Food Engineering, 79 (3), p.920-928.
 12. Nand Kishor,(2008),"Nonlinear predictive control to track deviated power of an identified NNARX model of a hydro plant ".Expert Systems With Applications, 35 (4), p.1741-1751.
 13. ROBERTS, Robert,(2008), "METHODS FOR CONTINUOUS PROCESSING POLYTETRAFLUOROETHYLENE (PTFE) RESIN". PATENT COOPERATION TREATY APPLICATION.
 14. Chibber, Rakesh , Hagan, Russell (BTG International Limited),(2008),"Core 2 glcnac-t vibration of cross-shaped tube bundle in cross-flow". Journal of Fluids and Structures, 18 (5), p.651-661.