

مطالعه عددی پدیده ضربه قوچ در سیستمهای آبگیر سدهای مخزنی با نرم افزار Water Hammer

ابوالفضل شمسانی - استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

محمد کربلایی کریمی - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات - عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی

چکیده

جریان غیر ماندگار در لوله به اشکال مختلف بروز می نماید. یک نمونه از انواع جریان، جریانهای غیر ماندگار میراست که بطور خاص ضربه قوچ نامیده می شود. موجهای فشاری ناشی از ضربه قوچ باعث ناپایداری سیستم انتقال می شود و در صورتیکه از فشار مجاز سیستم فراتر رود، باعث خرابی و یا متلاشی شدن آن می گردد. استفاده از نرم افزار تخصصی Hammer در دهه اخیر برای تحلیل مسائل گوناگون صنعتی توسعه روزافزونی یافته است. در این تحقیق از قابلیت‌های این نرم افزار برای مدل‌سازی و تحلیل سیستمهای آبگیر سد شامل سه سیستم آبگیر ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میلیمتری استفاده شده است.

مدلسازی و آنالیز در نرم افزار Watercad , Hammer مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی موضوع با کلیه پارامترهای دخیل، پدیده ضربه قوچ در ۵۷ حالت بشرح ذیل مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است:

۱ - بررسی ضربه قوچ در رقوم مختلف تراز دریاچه سد اعم از رقوم سرریز، رقوم تاج سد، رقوم ماکزیمم و ...

۲ - بررسی ضربه قوچ با توجه به میزان سرعت موج در دو حالت لوله صلب و نیمه صلب.

۳ - بررسی ضربه قوچ در هر یک از سیستمهای آبگیر با توجه به زمان انسداد شیر پروانه ای.

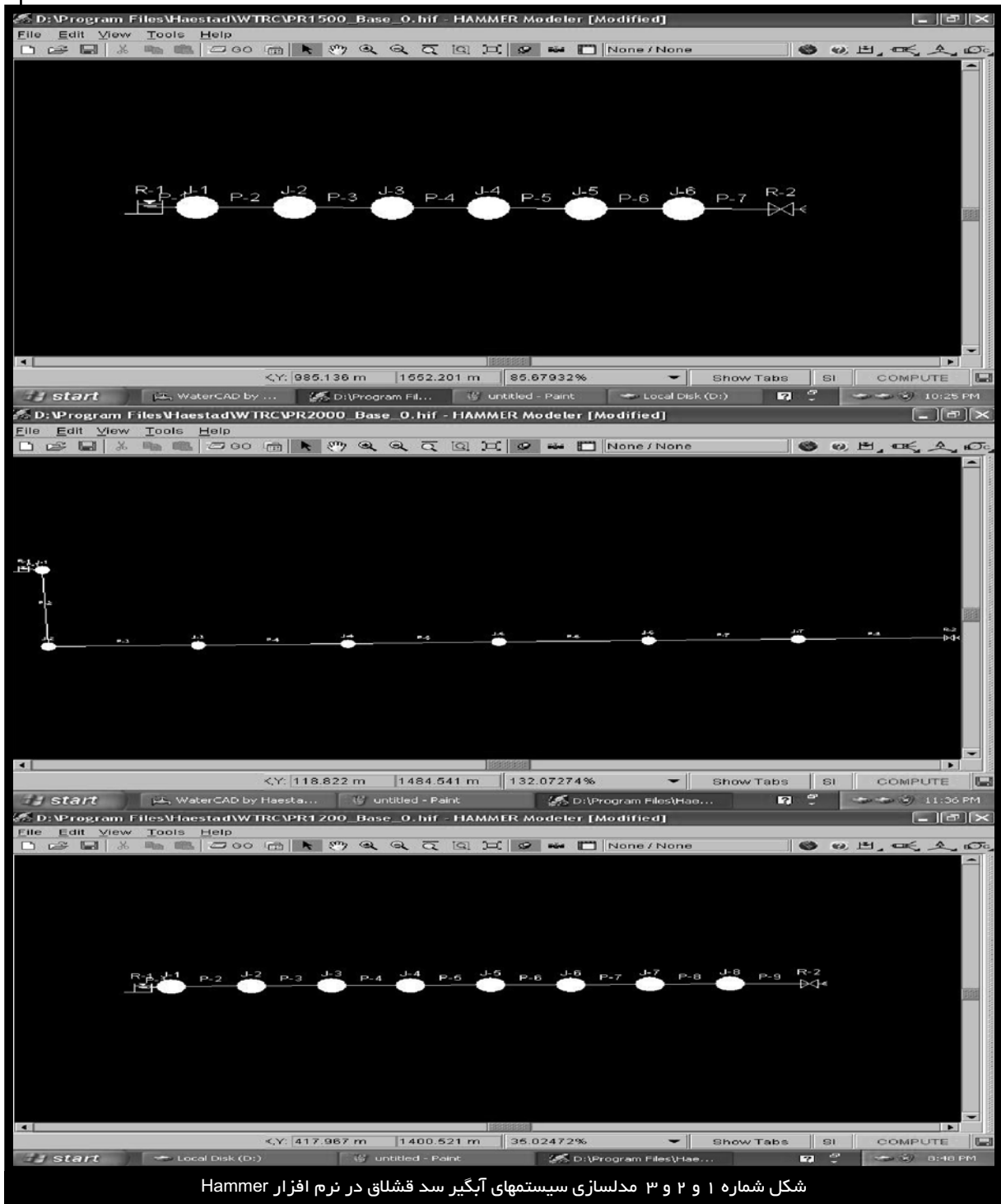
پس از آنالیز و کنترل و بررسی نتایج حالات فوق مشخص گردید که مدت زمان انسداد بحرانی شیر در سیستمهای آبگیر سد با توجه به طول نسبتاً کم آن بسیار کوتاه بوده و باعث بروز نیروهای بسیار بزرگ هیدرولیکی درحالات مختلف هد آب دریاچه خواهد شد. در صورت انسداد شیر پروانه ای سیستم آبگیر در زمان نسبتاً طولانی تر امکان وقوع مقادیر بزرگ برای این نیروها کم است، فلذا انسداد شیر درمدت زمان ۲۵ درصد زمان واقعی بسته شدن شیر پروانه ای مدل شد که از نتایج حاصل مشخص گردید که در صورت رعایت مدت زمان مذکور نیروهای حاصله نسبتاً ناچیز بوده و خطری متوجه سیستمهای آبگیر نخواهد شد. بررسی تغییرات سرعت موج در دو حالت لوله صلب و نیمه صلب وضعیت نسبتاً مشابه ای در مورد حجم بخار تولید شده و ماکزیمم دبی منفی در لوله منتهی به شیر پروانه ای ارائه کرده است که نشان می دهد تغییرات سرعت موج تأثیر چندانی بر ضربه قوچ ایجاد شده نداشته است. نتایج حاصل نشان داده است که اختلاف مقادیر حاصل در ماکزیمم دبی مثبت و ماکزیمم فشار در دو حالت صلب و نیمه صلب قابل توجه می باشند.

کلید واژه: ضربه قوچ - زمان انسداد سریع - زمان انسداد کند - سیستم آبگیر تحتانی - لوله صلب و نیمه صلب - سرعت موج

مقدمه

جهت بررسی در حالت غیر ماندگار به نرم افزار Hammer منتقل گردید. در شکل‌های شماره ۱، ۲ و ۳ مدل‌سازی هر یک از سیستم‌های آبگیر در نرم افزار Hammer مشاهده می‌شود. حال به بررسی هر یک از پارامترهای دخیل در بررسی تئوری ضربه قوچ می‌پردازیم.

مدلسازی هر یک از سیستم‌های آبگیر موضوع مطالعه با عنایت به اطلاعات موجود سد مخزنی آغاز گردید و نسبت به تهیه طرح اولیه اقدام گردید. مدل‌سازی ابتدا در حالت دائمی در نرم افزار Watercad انجام شد و نتایج حاصل



شکل شماره ۱ و ۲ و ۳ مدل‌سازی سیستم‌های آبگیر سد قشلاق در نرم افزار Hammer

۱- سرعت موج :

در نظریه کشسانی یا الاستیک ضربه قوچ، بدلائل مختلف در مقادیر دبی و سرعت تغییراتی ایجاد می شود و جریان سیال را غیرماندگار می کند. در این حالت موج فشاری تولید می شود و به سرعت در خط انتقال منتشر می شود. این امر سبب تولید فشار ضربه قوچ شده و همراه با انتشار این موج فشار بطور ناگهانی به جداره لوله و تاسیسات سیستم انتقال فشار اضافی وارد می نماید. تحلیل فشار ضربه قوچ را می توان به روشهای گوناگون انجام داد و کلیه راه حلها بنتایج واحدی منجر می گردد. در واقع در زمانیکه جریان داخل لوله سیستم انتقال بطور ناگهانی متوقف می شود و یا بعبارت دیگر سرعت اولیه V_0 به صفر می رسد، فشار ضربه قوچ از فرمول زیر بدست می آید.

$$h = \pm a V_0 / g$$

که عامل a سرعت انتشار موج فشار است و مقدار آن ب عواملی از جمله قطر، جنس لوله انتقال و نوع سیال بستگی دارد. فرمول کلی تعیین سرعت انتشار موج فشار بصورت زیر است :

$$a = 1 / \{ \rho (1 / K + D_{c1} / E \cdot t) \}^{1/2}$$

ρ وزن مخصوص سیال، K مدول حجمی سیال (خصوصیات سیال)، E مدول الاستیسیته (جنس لوله) و مشخصات لوله (D قطر و t ضخامت) عوامل موثر در رابطه فوق است. [۲۰۱]

بدلائل ذیل میتوان لوله های آبگیر سد را صلب فرض نمود و از رابطه لوله صلب در مورد آنها استفاده نمود:

$$1-1 - \text{ مهاربندی سیستم :}$$

سیستم لوله های آبگیر در پایین دست و بالادست بطور کامل با توجه به سیستم سازه ای سد مهاربندی شده است.

$$1-2 - \text{ اتصالات :}$$

لوله های آبگیر با اتصالات آبنند و با پایه های فلزی در طول مسیر مهار شده است.

$$1-3 - \text{ پوشش بتنی :}$$

با توجه به عبور لوله های آبگیر از داخل پوشش بتن و ترمیم و تقویت لوله های آسیب دیده با پوشش بتن باعث صلبیت لوله ها شده است.

$$1-4 - \text{ طول لوله :}$$

لوله های سیستم آبگیر در مقایسه با خطوط انتقال نسبتا کوتاه می باشد.

بر حسب قرار گرفتن لوله ها در سطح یا زیر سطح زمین و نوع اتصالات لوله اعم از صلب و انعطاف پذیر و یا تکیه گاههای بتنی و یا ترکیبی از آنها نسبت به بررسی سرعت موج اقدام می شود. در حالتیکه لوله صلب فرض شود مقدار عامل $D/E \cdot t$ نسبت به عامل $1/K$ بسیار کوچک بوده و قابل اغماض است لذا سرعت موج از رابطه زیر ساده می شود :

$$a = 1 / \{ g(1 / K + D_{c1} / E \cdot t) \}^{1/2} = (K / \rho)^{1/2}$$

حال با توجه به خصوصیات آب در شرایط عادی داریم :

$$\rho = 1000 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$K = 2.1 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

این مقدار در حدود سرعت صوت در آب می باشد.

$$a = (2.1 \times 10^9 / 1000)^{1/2} = 1450 \text{ m/s}$$

حال اگر لوله سیستم آبگیر را تا حدودی انعطاف پذیر فرض کنیم مقدار سرعت موج تا حدودی تغییر خواهد کرد. در لوله های فولادی داریم :

$$\mu = 0.3$$

$$C = 1 - \mu = 0.7$$

$$a = (1450) / (1 + (2.1 \times 10^9 / 2.1 \times 10^7) \times (1.2 / 0.01) \times (0.7)^2)^{0.5} = (1450) / (1.588)^{0.5} = 1150 \text{ m/s}$$

۲- زمان بستن شیر :

طبق تئوری ضربه قوچ از رابطه زیر می توان زمان انسداد (بحرانی) را بدست آورد. زمان انتقال موج فشاری از بالا به پایین (حرکت رفت و برگشت) بصورت زیر محاسبه می شود :

$$T_{cr} = 2L / a$$

بنابراین سرعت موج را در دو حالت مختلف بررسی می کنیم. در حالت اول لوله سیستم آبگیر نیمه صلب فرض شده است و سرعت موج برابر 1150 m/s در نظر گرفته شده است. در حالت دوم لوله سیستم آبگیر صلب فرض شده و سرعت موج برابر 1450 m/s در نظر گرفته می شود.

حال برای هر یک از سیستمهای آبگیر سد با قرار دادن مقادیر، زمان انسداد بحرانی را محاسبه می کنیم:

۱ - سیستم آبگیر ۱۲۰۰ میلیمتری :

$$L=450 \text{ m}, T_{cr1} = 2L/a = 2 \times 450 / 1450 = 0.62 \text{ sec}$$

$$T_{cr2} = 2L/a = 2 \times 450 / 1150 = 0.782$$

۲ - سیستم آبگیر ۱۵۰۰ میلیمتری :

$$L= 168 \text{ m}, T_{cr1} = 2L/a = 2 \times 168 / 1450 = 0.232 \text{ ces}$$

$$T_{cr2} = 2L/a = 2 \times 168 / 1150 = 0.292$$

۳ - سیستم آبگیر ۲۰۰۰ میلیمتری :

$$L= 168 \text{ m}, T_{cr1} = 2L/a = 2 \times 168 / 1450 = 0.232 \text{ sec}$$

$$T_{cr2} = 2L/a = 2 \times 168 / 1150 = 0.292$$

بسته شدن شیر در زمانی کمتر از $2L/a$ را انسداد سریع و بیش از $2L/a$ را انسداد کند می گویند.

۲۵٪ زمان بسته شدن واقعی شیرها می باشد که به جهت بررسی در حالت بحرانی این زمان انتخاب شده است. نتایج این حالت در جدول شماره ۷ ارائه شده است.

۴- بررسی نتایج در محل شیر پروانه ای در کلیه سیستمهای آبگیر سد:

پس از مدلسازی و آنالیز هر یک از سیستمهای آبگیر در نرم افزارهای Hammer و Watercad در حالات مختلف، نتایج خروجی برای هر یک از پارامترهای موثر بر پدیده ضربه قوچ مورد بررسی و ارزیابی قرار می گیرند. گرافهای حاصل در محل لوله منتهی به شیر پروانه ای در پایین دست آبگیر مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهای هیدرولیکی موثر اعم از ماکزیمم فشار، ماکزیمم دبی مثبت و منفی و ماکزیمم حجم بخار بوجود آمده در هر حالت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از هر یک از حالات بشرح ذیل جمع بندی و ارائه شده است :

۴-۱- جمع بندی نتایج نهایی حاصل ازحالت اول (زمان انسداد سریع):

همانطور که به تشریح دربارہ روش تحقیق در دو حالت با پارامترهای مختلف پرداخته شد، طبق جداول شماره ۱ و ۲ در زمان انسداد سریع و کند در دو حالت سرعت موج در هدهای مختلف در پاچه موضوع مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر حاصل ارائه گردید. حال با عنایت به تمامی حالات مورد بررسی نتایج ذیل در کلیه سیستمهای آبگیر سد حاصل می شود:

۳- بررسی حالات وقوع ضربه قوچ :

با عنایت به جدول شماره ۱ با توجه به پارامترهای دخیل اعم از میزان هد آب دریاچه، زمان بحرانی، سرعت موج هر یک از حالات شماره گذاری شده اند و با توجه به هر یک از شماره های جدول ، ضربه قوچ در سیستمهای آبگیر بوقوع خواهد پیوست . هر یک از حالات فوق در زمان بحرانی رخ می دهد و بررسی در زمان انسداد کند در حالت دوم انجام خواهد شد.

۳-۱- بررسی حالات وقوع ضربه قوچ در زمان انسداد کند :

جهت بررسی اثر ضربه قوچ در سیستمهای آبگیر لازم است پارامترهای موثر بر این پدیده نیز مورد بررسی قرار گیرند . بدین منظور زمان انسداد شیر بسیار تأثیر گذار می باشد. با عنایت به ۳۸ حالت قبلی که سیستمهای آبگیر در زمان انسداد سریع مورد بررسی قرار گرفتند در این مرحله بررسی در زمان انسداد کند بررسی می گردد. با عنایت به گزارش بازرسی شرکت مهتاب قدس پیرامون تجهیزات هیدرومکانیک سد، زمان بسته شدن شیرهای پروانه ای ۴ دقیقه ذکر شده است.

حال چنانچه فرض شود بدلیل مشکلات در حین بهره برداری انسداد شیر در زمانی کمتر از ۴ دقیقه صورت گیرد و با توجه به زمان بسیار کم انسداد سریع در سیستمهای آبگیر، در زمان ۶۰ ثانیه به بررسی هر یک از سیستمهای آبگیر می پردازیم. شایان ذکر است این زمان

دبی منفی ندارد. اما رابطه مستقیم تقریباً خطی بین افزایش سرعت موج با ماکزیمم دبی منفی وجود دارد.
۶- ماکزیمم دبی منفی حاصل در سیستمهای آبیگیر ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰ میلیمتری بمقدار ماکزیمم دبی عبوری برابر ۱۴ و ۲۰ متر مکعب بر ثانیه حاصل شده اند.
۷- در کلیه سیستمهای آبیگیر ماکزیمم دبی مثبت حاصل در حدود ماکزیمم دبی عبوری از آبیگیرها بدست آمده است.
۸- کاهش ارتفاع آب دریاچه سد موجب افزایش ماکزیمم دبی مثبت حاصل در آبیگیرها خواهد شد.
۹- در هر دو حالت سرعت موج، ماکزیمم دبی مثبت در کمترین هد آب دریاچه بوقوع می پیوندد.

۱- در هر دو حالت سرعت موج با افزایش ارتفاع آب دریاچه، حجم بخار تولید شده بشدت کاهش می یابد.
۲- در هر دو حالت سرعت موج نتایج تفاوت چندانی باهم ندارند. ماکزیمم اختلاف حاصل در دو حالت بطور متوسط ۶/۵ درصد است، فلذا تغییرات سرعت موج تأثیری بر حجم بخار تولید شده ندارد.
۳- ماکزیمم حجم بخار تولید شده در کمترین هدهای دریاچه رخ داده است، پس در ارتفاع ماکزیمم آب دریاچه نگرانی از بابت بخار تولید شده وجود نخواهد داشت.
۴- در هر دو حالت سرعت موج با افزایش ارتفاع آب دریاچه، ماکزیمم دبی منفی بتدریج کاهش می یابد.
۵- تغییرات سرعت موج تأثیر قابل توجه بر ماکزیمم

۲۰۰۰		۱۵۰۰		۱۲۰۰		سیستم آبیگیر	هد آب	
۱۴۵۰	۱۱۵۰	۱۴۵۰	۱۱۵۰	۱۴۵۰	۱۱۵۰	سرعت موج (m/s)		
۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۶۲	۰/۷۸۳	زمان بحرانی (s)		
۳۴	۲۹	۲۲	۱۵	۸	۱		۱۵۷۸ m	۱
۳۵	۳۰	۲۳	۱۶	۹	۲		۱۵۷۵	۲
۳۶	۳۱	۲۴	۱۷	۱۰	۳		۱۵۷۱	۳
۳۷	۳۲	۲۵	۱۸	۱۱	۴		۱۵۵۰	۴
۳۸	۳۳	۲۶	۱۹	۱۲	۵		۱۵۳۰	۵
.....	.....	۲۷	۲۰	۱۳	۶		۱۵۲۰	۶
.....	.....	۲۸	۲۱	۱۴	۷		۱۵۱۰	۷

جدول ۱- حالات بررسی ضربه قوچ با پارامترهای موثر در هر یک از سیستمهای آبیگیر در زمان انسداد سریع

۲۰۰۰		۱۵۰۰		۱۲۰۰		سیستم آبیگیر	هد آب	ردیف
۱۴۵۰	۱۱۵۰	۱۴۵۰	۱۱۵۰	۱۴۵۰	۱۱۵۰	سرعت موج (m/s)		
۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	زمان بحرانی (s)		
۵۵	۵۲	۴۹	۴۶	۴۳	۴۰		۱۵۷۸ m	۱
۵۶	۵۳	۵۰	۴۷	۴۴	۴۱		۱۵۷۱	۲
۵۷	۵۴	۵۱	۴۸	۴۵	۴۲		۱۵۳۰	۳

جدول ۲- حالات بررسی ضربه قوچ با پارامترهای موثر در هر یک از سیستمهای آبیگیر در زمان انسداد کند

ردیف		هد آب		سیستم آبگیر		۱۲۰۰		۱۵۰۰		۲۰۰۰	
				سرعت موج (m/s)		۱۴۵۰		۱۱۵۰		۱۴۵۰	
				زمان بحرانی (s)		۰/۶۲		۰/۲۹۲		۰/۲۳۲	
۱	۱۵۷۸	۷/۶۴	۷/۳	۳/۳۹	۳/۳۰	۵/۳۸	۵/۰۹	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۱۴۵۰
۲	۱۵۷۵	۷/۹۳	۷/۶	۳/۶۸	۳/۳۳	۵/۳۸	۵/۰۴	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۱۴۵۰
۳	۱۵۷۱	۸/۴۹	۸/۲	۳/۹۶	۳/۶۸	۵/۹۴	۵/۶۶	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۱۴۵۰
۴	۱۵۵۰	۱۱/۵	۱۱/۳۲	۵/۶۶	۵/۳۸	۹/۰۶	۸/۴۹	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۱۴۵۰
۵	۱۵۳۰	۱۸/۶	۱۹/۸	۹/۰۶	۹/۰۶	۱۵/۳۰	۱۴/۱۵	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۱۴۵۰
۶	۱۵۲۰	۳۰	۳۱	۱۳/۸۹	۱۴/۱۵	.....	.....	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۱۴۵۰
۷	۱۵۱۰	۷۳/۶	۷۰	۳۳/۹۸	۳۱/۱۴	.....	.....	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۱۴۵۰

جدول ۳- مقادیر ماکزیمم حجم بخار (مترمکعب) حاصل در حالت اول (زمان انسداد بحرانی) در کلیه سیستمهای آبگیر

ردیف		هد آب		سیستم آبگیر		۱۲۰۰		۱۵۰۰		۲۰۰۰	
				سرعت موج (m/s)		۱۴۵۰		۱۱۵۰		۱۴۵۰	
				زمان بحرانی (s)		۰/۶۲		۰/۲۹۲		۰/۲۳۲	
۱	۱۵۷۸	۹۰۶۱/۴	۸۰۶۰	۱۲۱۳۴	۱۰۵۵۹	۱۶۴۲۳/۷	۲۰۶۰۰	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۱۴۵۰
۲	۱۵۷۵	۷۵۶۱	۹۰۶۱	۱۳۶۰۴	۱۲۱۶۰	۱۵۵۱۷/۰	۱۹۷۱۱	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۱۴۵۰
۳	۱۵۷۱	۶۷۶۱	۸۴۹۰	۱۳۰۴۴	۱۲۴۴۰	۱۴۷۲۳/۰	۱۸۷۷۰	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۱۴۵۰
۴	۱۵۵۰	۹۴۹۵	۸۵۲۰	۱۳۳۲۴	۱۲۴۴۰	۲۲۴۷۱/۰	۱۹۹۹۰	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۱۴۵۰
۵	۱۵۳۰	۹۴۵۰	۹۹۹۵	۱۳۰۴۴	۱۳۰۴۵	۲۴۵۲۵/۰	۲۳۰۷۵	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۱۴۵۰
۶	۱۵۲۰	۱۰۶۳۵	۱۰۴۹۵	۱۴۱۵۹	۱۳۰۳۸	.....	.....	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۱۴۵۰
۷	۱۵۱۰	۱۱۳۲۰	۱۱۲۹۵	۱۵۸۳۸	۱۴۳۵۰	.....	.....	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۱۴۵۰

جدول ۴- مقادیر ماکزیمم دبی مثبت (لیتر بر ثانیه) در حالت اول (زمان انسداد بحرانی) در کلیه سیستمهای آبگیر

۱۴ - رابطه خطی بین افزایش هد آب دریاچه و ماکزیمم فشار حاصل برقرار است.

۴-۲- جمع بندی نتایج نهایی حاصل از حالت دوم (زمان انسداد کند):

۱- حجم بخار تولید شده در کلیه حالات در همه سیستمهای آبگیر صفر است. بعبارت دیگر بخاری در این حالات تولید نخواهد شد.

۲- دبی منفی حاصل در کلیه سیستمهای آبگیر در زمان

۱۰- اثر افزایش سرعت موج بر مقدار ماکزیمم دبی مثبت حاصل در سیستمهای آبگیر قابل توجه و موثر است.

۱۱- اثر افزایش سرعت موج بر ماکزیمم فشار حاصل تاثیر قابل توجه دارد و رابطه مستقیمی بین آنها برقرار است.

۱۲- تغییرات ماکزیمم فشار بر حسب ارتفاع هد آب بصورت خطی تغییر می کند و پرشی در آن بوجود نمی آید.

۱۳- در هر دو حالت سرعت موج، ماکزیمم فشار در حالت ماکزیمم هد آب دریاچه رخ می دهد.

۲۰۰۰		۱۵۰۰		۱۲۰۰		سیستم آبگیر	هد آب	ردیف
۱۴۵۰	۱۱۵۰	۱۴۵۰	۱۱۵۰	۱۴۵۰	۱۱۵۰	سرعت موج (m/s)		
۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۶۲	۰/۷۸۳	زمان بحرانی (s)		
۱۱۵۹/۰	۹۲۶/۱۰	۱۴۴۲/۲	۱۱۸۳/۳	۱۷۷۸	۱۴۰۷/۵		۱۵۷۸	۱
۱۱۴۸/۳	۹۲۶/۰۰	۱۴۴۰/۶	۱۱۸۱/۱	۱۷۷۴	۱۳۹۱		۱۵۷۵	۲
۱۱۲۷/۰	۹۱۷/۲۷	۱۴۳۴/۱	۱۱۷۸/۵	۱۷۶۴	۱۴۰۱		۱۵۷۱	۳
۱۱۷۹/۵	۸۹۹/۷۰	۱۴۲۳/۴	۱۱۶۵/۳	۱۷۵۳	۱۴۰۰		۱۵۵۰	۴
۱۱۰۸/۹	۸۸۱/۲۰	۱۳۹۳/۵	۱۱۵۳/۲	۱۷۴۰	۱۳۸۳		۱۵۳۰	۵
.....	.....	۱۴۱۱/۱	۱۱۳۶/۱	۱۷۳۳	۱۳۶۸		۱۵۲۰	۶
.....	.....	۱۴۰۰/۲	۱۱۲۷/۵	۱۷۲۸	۱۳۶۰		۱۵۱۰	۷

جدول ۵- مقادیر ماکزیمم فشار (متر آب) در حالت اول (زمان انسداد بحرانی) در کلیه سیستمهای آبگیر

۲۰۰۰		۱۵۰۰		۱۲۰۰		سیستم آبگیر	هد آب	ردیف
۱۴۵۰	۱۱۵۰	۱۴۵۰	۱۱۵۰	۱۴۵۰	۱۱۵۰	سرعت موج (m/s)		
۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۲۳۲	۰/۲۹۲	۰/۶۲	۰/۷۸۳	زمان بحرانی (s)		
۲۰۲۵۳	۱۸۹۲۱	۱۴۱۵۸	۱۴۱۵۸	۱۱۳۰۰	۱۰۳۲۶		۱۵۷۸	۱
۲۰۸۵۳	۱۸۹۲۱	۱۴۲۰۱	۱۴۴۲۵	۱۱۳۲۶	۱۰۵۴۰		۱۵۷۵	۲
۲۰۸۶۰	۱۹۷۹۲	۱۴۴۲۵	۱۴۵۹۳	۱۱۳۹۶	۱۰۷۰۰		۱۵۷۱	۳
۲۰۸۹۵	۲۰۷۰۲	۱۴۷۰۵	۱۴۷۵۰	۱۲۳۸۶	۱۱۳۲۶		۱۵۵۰	۴
۲۲۹۸۶	۲۳۴۸۵	۱۶۶۹۰	۱۵۵۹۰	۱۲۴۷۸	۱۲۷۴۱		۱۵۳۰	۵
.....	.....	۱۷۹۰۱	۱۷۳۷۳	۱۳۰۵۰	۱۳۱۵۸		۱۵۲۰	۶
.....	.....	۱۹۲۲۱	۱۸۶۲۱	۱۳۶۵۸	۱۳۶۵۸		۱۵۱۰	۷

جدول ۶- مقادیر ماکزیمم دبی منفی (لیتر بر ثانیه) در حالت اول (زمان انسداد بحرانی) در کلیه سیستمهای آبگیر

موج بر ماکزیمم دبی مثبت تولید شده قابل اغماض است.
 ۶- مقدار دبی مثبت با گذر زمان بشدت کاهش می یابد و در زمان ۱۲ ثانیه بطور میانگین به ۲۲ درصد مقدار اولیه خود می رسد.
 ۷- رابطه مستقیم خطی مابین هد آب دریاچه با فشار بوجود آمده در سیستم آبگیر برقرار است.
 ۸- ماکزیمم فشار در ثانیه اول رخ می دهد و بعد از آن رابطه ثابت $y = P = C$ بوجود خواهد آمد.

۶۰ ثانیه برابر صفر است. عبارت دیگر موج منفی در این حالت در سیستمهای آبگیر بوجود نخواهد آمد.
 ۳- در کلیه حالات مورد بررسی در زمان انسداد کند ماکزیمم دبی مثبت در لحظات اول بوقوع می پیوندد.
 ۴- تغییرات دبی مثبت بصورت خطی کاهش پیدا می کند و پرشی جز در ثانیه اول در آن مشاهده نمی شود.
 ۵- در دو حالت سرعت موج، ماکزیمم دبی مثبت ایجاد شده تفاوت فاحشی با هم ندارند، فلذا اثر سرعت

ردیف	حالت	دبی مثبت					دبی منفی	حجم بخار
		t=0 sec	t=1 sec	t=12 sec	t=1 sec	t=6 sec		
۱	۴۰	۱۴۱۵۸	۸۴۹۵	۲۴۹۵	۵۷۱	۷۴	۰	
۲	۴۱	۱۴۱۵۸	۸۴۹۵	۲۴۷۷	۵۷۱	۶۳	۰	
۳	۴۲	۱۴۱۵۸	۸۴۹۵	۱۵۰۵	۵۵۵	۲۸	۰	
۴	۴۳	۱۴۱۵۸	۹۰۲۶	۲۵۳۰	۶۳۴	۷۰	۰	
۵	۴۴	۱۴۱۵۸	۹۰۲۶	۲۴۷۷	۶۲۸	۶۱	۰	
۶	۴۵	۱۴۱۵۸	۸۹۳۷	۱۴۱۵	۶۲۷	۳۰	۰	
۷	۴۶	۱۹۹۶۰	۱۲۱۷۷	۳۵۳۹	۵۴۷	۷۶	۰	
۸	۴۷	۱۹۹۵۱	۱۲۱۷۷	۳۳۹۸	۵۴۵	۶۸	۰	
۹	۴۸	۱۹۸۲۰	۱۱۸۹۴	۲۲۶۶	۵۳۹	۲۹	۰	
۱۰	۴۹	۱۹۸۲۰	۱۲۸۸۴	۳۶۸۱	۶۱۷	۷۰	۰	
۱۱	۵۰	۲۰۱۰۴	۱۲۷۹۹	۳۳۹۸	۶۱۵	۶۴	۰	
۱۲	۵۱	۲۰۱۰۴	۱۲۸۰۰	۲۲۶۶	۶۰۶	۲۸	۰	
۱۳	۵۲	۱۳۷۰۱	۵۴۱۵	۴۴۶۱	۴۴۴	۷۱	۰	
۱۴	۵۳	۱۳۵۲۷	۵۱۲۰	۴۴۸۲	۴۴۰	۶۴	۰	
۱۵	۵۴	۱۳۵۷۱	۳۳۵۸	۲۷۰۸	۴۳۳	۲۸	۰	
۱۶	۵۵	۱۴۶۵۵	۵۴۱۵	۴۴۶۱	۵۰۸	۷۳	۰	
۱۷	۵۶	۱۴۴۹۶	۵۲۹۷	۴۳۰۲	۵۰۳	۶۵	۰	
۱۸	۵۷	۱۴۴۸۵	۳۹۴۷	۳۱۳۷	۵۰۰	۲۶	۰	

جدول ۷- مقادیر حاصل در حالت دوم (زمان انسدادکند) در کلیه سیستمهای آبگیر

مراجع

- ۱- نجمایی، محمد. (زمستان ۷۴). "ضربه قوچ" - انتشارات هما - چاپ اول
- ۲- شمسایی، ابوالفضل-ربیعی فر، حمید رضا. چاپ اول سال ۸۵. "هیدرولیک کاربردی جریانهای غیر ماندگار در نیروگاههای برقی و ایستگاه پمپاژ" انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.