مقارنة بين خزانات التموج المستخدمة في الحماية من مشكلة مطرقة الماء في المحطات الكهرومائية

عبد الغني محمد رمضان[1] ، خيري مفتاح القراد[2] ، جمعة عبد السلام ساسي [3]

2،1 قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة، القره بوللي

3 قسم الهندسة الكيميائية، كلية الهندسة، القره بوللي

الملخص :

تم في هذا البحث إجراء مقارنة بين نوعين من خزانات التموج المستخدمة في الحماية من مشكلة مطرقة الماء في المحطات الكهرومائية وهما الخزان البسيط ، و الخزان ذو الفتحة. وقد استخدم لهذا الغرض نموذج رياضي يعتمد في الأساس على اشتقاق المعادلات التفاضلية الحاكمة وفق المبادئ الأساسية لميكانيكا الموائع بتطبيق معادلة الاستمرارية ومعادلة كمية الحركة (الزخم) على الخزانين، وحله باستخدام الطرق العددية وبالاستعانة ببرامج الحاسب الآلي تحت الشروط الابتدائية والبيانات التشغيلية، حيث أظهرت النتائج أنه بزيادة مساحة مقطع الخزان ومعامل الاحتكاك بالأنبوب الرئيس انخفض مستوى الاندفاع المفاجئ الأول في الخزان ، وكذلك معدلات التصريف سواء في الخزان البسيط أو في الخزان ذي الفتحة. معامل الاحتكاك للفتحة في الخزان ذي الفتحة أعطاه ميزة إضافية على الخزان البسيط، فمن خلال المقارنة بين النتائج للخزانين اتضح أن الخزان ذا الفتحة هو أفضل استخداما من الخزان البسيط في المحطات الكهرومائية، وذلك ناتج عن التأثير الإيجابي للفتحة في إخماد مستوى الاندفاعات المفاجئة والتقليل من التذبذبات والتقلبات و تقليل زمن التخميد ومعدلات التصريف.

الكلمات المفتاحية : المطرقة المائية– الخزان البسيط– الخزان ذو الفوهة– الاندفاع المفاجئ.

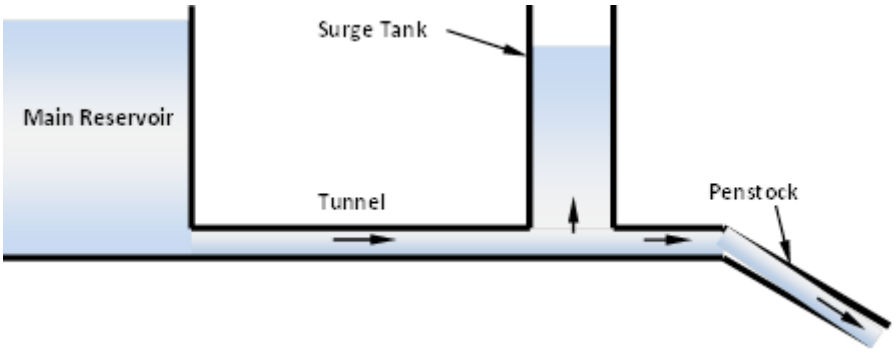
مقدمة

تعد ظاهرة الموجة المصاحبة للتغير المفاجئ في سرعة المائع في الأنبوب من أخطر المشاكل التي تواجه خطوط الأنابيب، حيث يطلق مصطلح " المطرقة المائية" على الضغط العابر الذي يؤثر بشكل خطير على الأنابيب وملحقاتها مثل الصمامات ويؤدي إلى تضررها وإتلافها، ويصل في بعض

الأحيان إلى تعريض حياة العاملين للخطر، وما يترتب على ذلك من خسائر اقتصادية وتأثيرات اجتماعية على المجتمعات والدول بشكل عام إذا لم يعامل بشكل صحيح ويخمد، إن أكثر المصادر شيوعا للضغوط العابرة هي تلك المتعلقة بالتغير المفاجئ في الطلب على التوربين في المحطات الكهرومائية ، أو أثناء القفل الجزئي أو الكلي لصمامات التحكم، أو أثناء الأعطال والتوقفات المفاجئة في المضخات أو التربينات العاملة على خطوط الأنابيب. توجد عدة طرق للتحكم والسيطرة على هذه الظاهرة والتقليل من تأثيرها السلبي من بينها استخدام خزانات التموج أو خزانات كبح الاندفاع المفاجئ، الشكل (1) يوضح خزان تموج بسيط مربوط مع خط الأنابيب بعد الخزان الرئيس وقبل التربينة. تتلخص وظيفة خزان التموج بشكل عام في:

(أ) تخميد وكبح موجة الاندفاع المفاجئ الناتجة عن التقلبات في الضغط .(ب) يعمل خزان التموج على تحسين وتنظيم عمل التربينات الهيدروليكية.(جـ) يخزن المياه ويعطيها وقت الحاجة وذلك عن طريق تعجيل أو تأخير سريان المياه داخل خط الأنابيب.

توجد أنواع عدة من خزانات كبح الاندفاع المفاجئ (التموج) نذكر منها: الخزان البسيط ، والخزان ذا الفتحة، والخزان التفاضلي، والخزان ذا الاتجاه الواحد، والخزان المغلق (المقفل)، و الخزان ذا الدهاليز (الأروقة). حازت مشكلة مطرقة الماء على اهتمام كبير وواسع من قبل الباحثين والمختصين في هذا المجال، حيث أجريت الكثير من الدراسات النظرية والتجريبية والمحاكاة باستخدام برامج الحاسب الآلي تحت الظروف التشغيلية المختلفة، لاستخلاص النتائج ومناقشتها والخروج باستنتاجات وتوصيات من خلالها نذكر بعضها في الآتي:



الشكل (1) : رسم تخطيطي لخزان كبح الاندفاع المفاجئ (التموج).

في دراسة سابقة ((Ramadan A.M & Mustafa .H (2013) قام المؤلفون بدراسة الاعتبارات التصميمية لخزانات التموج للتحكم في مشكلة مطرقة الماء في المحطات الكهرومائية، وتم التركيز بشكل خاص على إجراء دراسة نظرية على خزان التموج البسيط لمعرفة تأثير العوامل التصميمية والمتغيرات المختلفة على المشكلة، ثم إيجاد ارتفاع الموجة ومعدل التصريف وتأثير معامل الاحتكاك في نطاق بيانات تشغيلية مختلفة كدالة في الزمن للحصول على أفضل قيم تصميمية تلائم المحطة الكهرومائية المقترحة.

غلام وآخرون ((Ghulam N., et al. (2011) أجروا دراسة على استخدام بعض أنواع خزانات التموج في محطتين من المحطات الكهرومائية في باكستان هما : محطة ساتبارا ، ومحطة قولون قل، هذه الأنواع هي خزان التموج من غير غرفة، خزان التموج بغرفتين ، و خزان التموج بغرفة ، وذلك بحساب ارتفاع الموجة والزمن اللازم لإخمادها، حيث تم دراستها في ظروف تشغيل مختلفة: في حالة قفل تام، وفي حالة فتح تام.

خلصت هذه الدراسة الى أن خزان التموج بغرفة واحدة في محطة ساتبارا، كان الأفضل في إخماد الموجة واستقرارها من النوعين الآخرين، بينما في محطة قولون قل، كان خزان التموج بغرفتين أفضل من النوعين الآخرين في تخميد موجة الاندفاع المفاجئ.

ازهري موهادام ((Azhdary M. (2004) في هذه الدراسة تم اشتقاق المعادلات التفاضلية الحاكمة لحساب أقصى ارتفاع للموجة وأقل ارتفاع لها ، والتذبذبات التي تحدث في خزان التموج بعد إجراء تعديل في الحد الخاص بالاحتكاك، حيث إن حد الاحتكاك عادة مايكون غير خطي، لهذا تم إيجاد الحل العام لهذه المعادلات باستخدام التحليلات اللابعدية.

فورهيفن وآخرون((Verhoeven R., et al (1998) أجروا دراسة مقارنة لبعض الأنواع التجارية من الحجرات الهوائية المستخدمة في تخميد الموجة في خطوط الأنابيب المضغوطة، منها حجرة الهواء الكلاسيكية، والنوع الكلاسيكي المجهز ببالون مطاطي، والنوع الكلاسيكي المزود بوصلتين، وأخيرا النوع الحديث من الحجرات الهواية المعزولة. تم التعرض للمبادئ الأساسية في تشغيلها تحت الظروف المختلفة، ومعرفة أماكن تطبيقها، وذلك من خلال أمثلة تجريبية في مجال تطبيقات كل نوع من أنواعها.

خلصت الدراسة الى أن الحجرات الهوائية الكلاسيكية كانت الأفضل في تخميد الموجة والتحكم فيها من النوع المعزول.

بينار بربراوغلو ((2013) .Pinar B) أجرت دراسة نظرية لتحديد أبعاد خزانات التموج الفعالة في المحطات الكهرومائية تحت ظروف التشغيل المختلفة، في هذه الدراسة تم التركيز على ثلاثة أنواع من خزانات التموج: الخزان البسيط ، الخزان ذو الفتحة ، والخزان ذو العمود. اعتمدت الدراسة على اشتقاق المعادلات التفاضلية الحاكمة في مشكلة مطرقة الماء وحلها، بالإضافة إلى تحجيم الخزانات بواسطة اشتقاق علاقات تجريبية بواسطة التحليلات اللابعدية، وإجراء دراسة اقتصادية عليها.

اربانوفيتش وآخرون ((2016) Urbanowicz K., et al)أجروا دراسة حول مشكلة المطرقة المائية في أنابيب البوليمر المرنة، وذلك بتقديم وتحليل نموذج رياضي جديد، حيث تم إضافة حد جديد لمعادلة الاستمرارية لوصف التشوه المتأخر في أنابيب البوليمر، السلوك الميكانيكي تم وصفه باستخدام نموذج كلفن فويقت ، تم مقارنة ومناقشة النتائج النظرية بنتائج عملية من الدراسات السابقة المعروفة في هذا المجال.

في هذه الورقة سيتم دراسة مشكلة مطرقة الماء نظرياً لمعرفة تأثير المتغيرات المختلفة، وإجراء مقارنة بين خزان التموج البسيط والخزان ذو الفتحة في تخميد الموجة والتقليل من زمن التخميد، وذلك بحساب المتغيرات التصميمية المختلفة مثل ارتفاع الموجة ومعدلات التصريف وتأثير معامل الاحتكاك للأنابيب ومعامل الاحتكاك للفوهة كدالة في الزمن، ومناقشة النتائج والخروج باستنتاجات وتوصيات بشأنها.

النموذج الرياضي

تم في هذه الدراسة الاعتماد على النموذج الرياضي المستخدم في العديد من المراجع، وكمثال على ذلك ((2013) .Pinar B ، (1987) .Chaudhry M.H)، وتم اشتقاق المعادلات التفاضلية العادية الحاكمة، بتطبيق معادلة الاستمرارية ومعادلة كمية الحركة (الزخم)، على عنصر (جزء) تفاضلي صغير من السائل بحجم تحكم محدد، ولغرض تسهيل عملية النمذجة والحل للمعادلات التفاضلية العادية الحاكمة، تم إجراء بعض الافتراضات التالية:

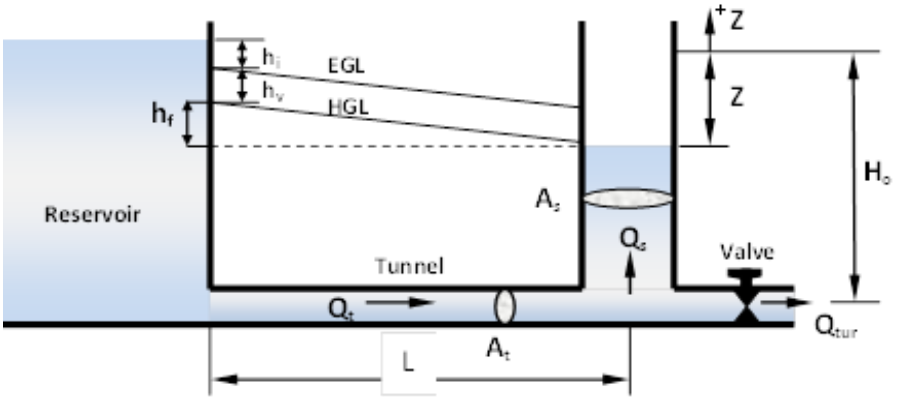
i- جدران الأنبوب الرئيس (القناة المائية) غير مرنة ، والسائل (الماء) غير قابل للانضغاط.

ii- القصور الذاتي للسائل (الماء) في خزان التموج صغير جداً عند مقارنته بالقصور الذاتي للماء داخل القناة الرئيسية، ولهذا يمكن إهماله.

iii- الفقد في الضغط يمكن حسابه باستخدام معادلات الحالة المستقرة لسرعات السريان المناظرة.

الخزان البسيط

في الخزان البسيط الموضح بالشكل (2-أ)، يكون الخزان مربوط مباشرة في العادة على خط الأنابيب بين الخزان الرئيس (السد)، والتربينة.



الشكل (2-أ): خزان التموج البسيط

المعادلات التفاضلية العادية الحاكمة الناتجة عن تطبيق معادلة كمية الحركة (الزخم)، معادلة (1)، ومعادلة الاستمرارية ، معادلة (2)، هي:

$$\frac{dQ_t}{dt} = \frac{gA_t}{L}\left(-Z - CQ_t|Q_t|\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{1}{A_s}\left(Q_t - Q_{tur}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

حيث إن : Q_s، Q_t، Q_{tur} = معدل تصريف المياه بخزان التموج، معدل تصريف المياه بالقناة الرئيسية، معدل تصريف المياة للتربينة (kg/s).

A_t، A_s= مساحة مقطع القناة الرئيسية، مساحة مقطع خزان التموج (m^2).

C = معامل الاحتكاك لجدار القناة الرئيسية.

Z = مستوى المياه بخزان التموج **(m)**.

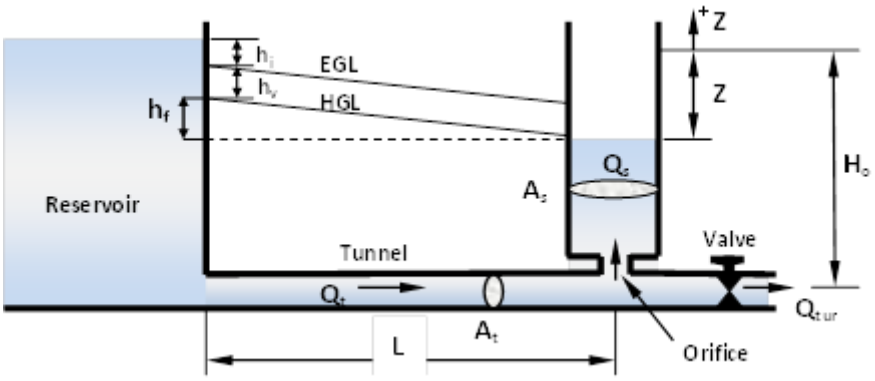
g = عجلة الجاذبية الأرضية **(m^2/s)**.

L = طول القناة الرئيسية **(m)**، **t** = الزمن **(sec)**.

H_o ،h_f، h_v، h_i = عمود الضغط عند المدخل، عمود الضغط الناتج عن السرعة عند المدخل، الفقد في الضغط نتيجة الاحتكاك وعمود الضغط الاستاتيكي **(m)**،على التوالي.

الخزان ذو الفتحة:

في الخزان ذو الفتحة، توجد فتحة، تعيق حركة السائل من وإلى خزان التموج، موجودة بين القناة الرئيسية للماء وخزان التموج، كما هو موضح بالشكل (2–ب).



الشكل (2–ب): خزان التموج ذو الفتحة.

المعادلات التفاضلية العادية الحاكمة الناتجة عن تطبيق معادلة كمية الحركة (الزخم)، معادلة (3)، ومعادلة الاستمرارية ، معادلة (4)، هي:

$$\frac{dQ_t}{dt} = \frac{gA_t}{L}\left(-Z - CQ_t|Q_t| - C_{orf}Q_s|Q_s|\right) \quad \text{.....(3)}$$

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{1}{A_s}\left(Q_t - Q_{tur}\right) \quad \text{.....(4)}$$

حيث إن: C_{orf} = معامل الاحتكاك للفتحة اسفل خزان التموج.

أسلوب وإجراءات الحل :

إن أسلوب وإجراءات الحل يعتمد بالأساس على حل منظومة المعادلات التفاضلية العادية عدديا وآنيا، وفق الشروط الابتدائية والبيانات التشغيلية المبينة بالجدول (1)، باستخدام طريقة رانج كوتا بالاستعانة ببرنامج الحاسب الآلي (MATLAB)، في حل هذه المعدلات.

جدول رقم(1): الشروط الابتدائية والبيانات التشغيلية لمحطة كهرومائية افتراضية.

ر.م	الرمز	القيمة	الوحدات
1-	L	500	(m)
2-	Z(0)	0.0	(m)
3-	$Q_t(0)$	300	(m^3/s)
4-	Q_{tur}	0.0	(m^3/s)
5-	A_t	80	(m^2)
6-	A_s (0)	100	(m^2)
7-	C(0)	0.0	
8-	$C_{orf}(0)$	0.1	
9-	Δt	0.5	(sec)

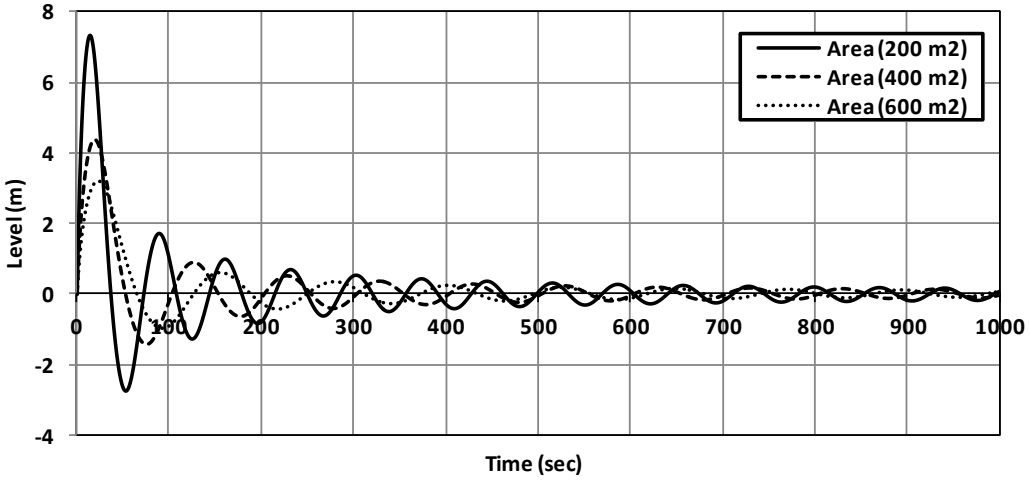
النتائج والمناقشة

الخزان البسيط.

تأثير تغيير مساحة مقطع الخزان على مستوي الماء في الخزان:

في الشكل (3) تم توضيح تأثير تغيير مساحة مقطع الخزان على مستوي الماء في الخزان حيث من الواضح أنه إذا زادت مساحة مقطع الخزان انخفض مستوى الاندفاع المفاجئ للماء خلاله ، أي أن هناك تناسبا عكسيا بينهما وذلك لأن زيادة مساحه مقطع الخزان عند ثبوت كمية الماء فيه يؤدي إلى انخفاض مستوى الماء داخله، ومن خلال الشكل، يمكن ملاحظة أن مستوى الاندفاع المفاجئ في المرحلة الاولى ينخفض من 7 متر، عند مساحه مقطع 200 ($م^2$) إلي حوالي 3 متر عند مساحه

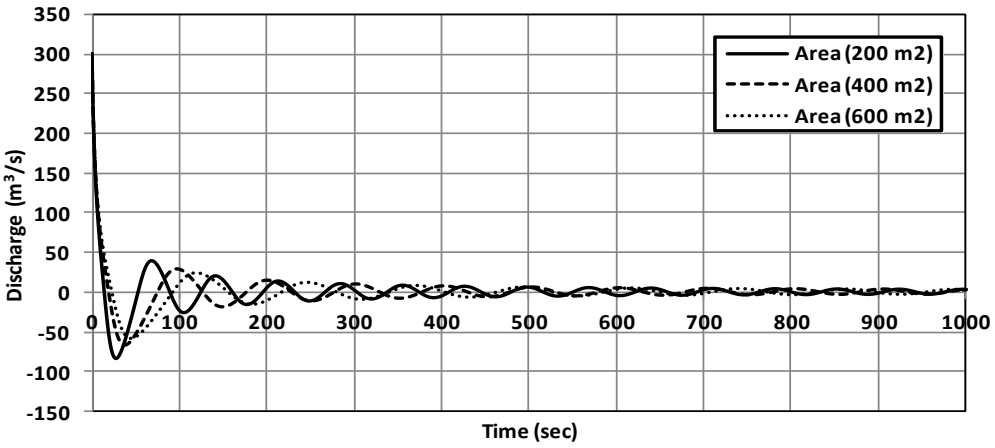
مقطع 600 (م^2). كما يتضح من خلال الشكل أن الزمن اللازم لتخميد الموجة يقل كلما زادت مساحة مقطع الخزان.



الشكل (3): تغير مستوى الماء في الخزان مع الزمن (A_s=200,400,600 m^2)

تأثير تغيير مساحه مقطع الخزان على معدل تصريف الماء :

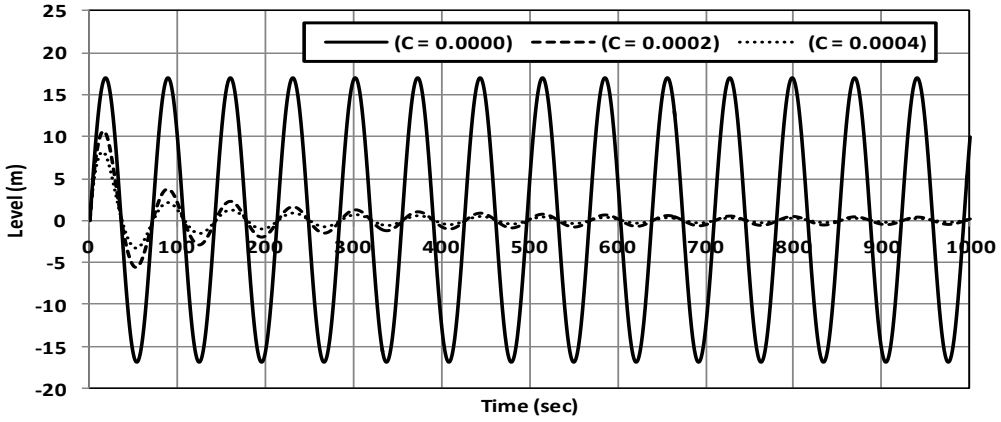
الشكل (4) يوضح تأثير تغيير مساحة مقطع الخزان على معدل تصريف الماء، فبزيادة مساحه مقطع الخزان ينخفض مستوى التذبذب في معدلات تصريف الماء الناتجة من التأثير العابر(غير المستقر)، هذه التقلبات تتغير من حوالي(−75 م^3/ثانية) كحد أدنى إلى حوالي (+40 م^3/ثانية) كحد أقصى عند مساحه مقطع 200 م^2 ، ومن حوالي(−55 م^3/ثانية) كحد أدنى إلى (+25 م^3/ثانية) كحد أعلى عند مساحه 600 (م^2)، وهذا يعني أن زيادة مساحه مقطع الخزان تعطي فرصه للتقليل من معدلات تصريف المياه مع انخفاض سرعه الموجه العابرة.



الشكل(4): تغير معدل التصريف مع الزمن (A_s=200,400,600 m^2)

تأثير تغيير معامل الاحتكاك على مستوى الماء في الخزان:

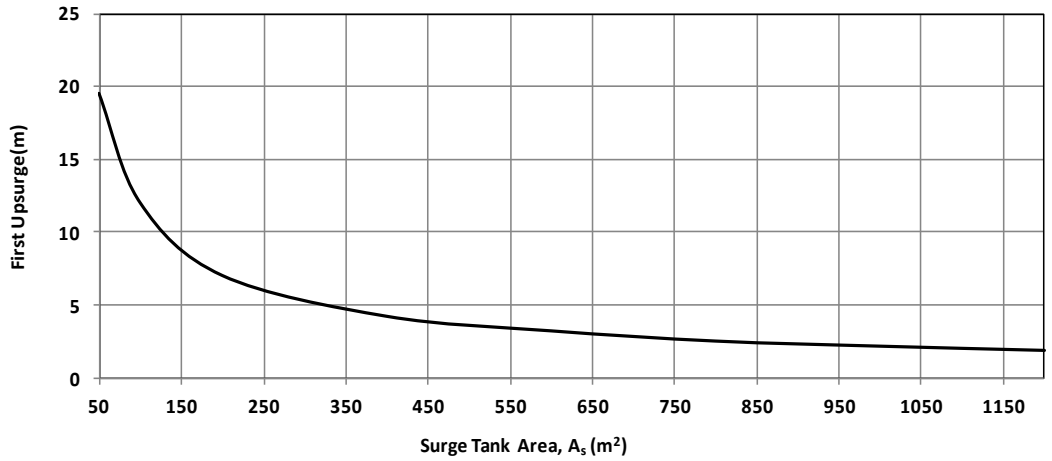
تأثير تغيير معامل الاحتكاك على مستوى الماء في الخزان تم توضيحه عن طريق الشكل (5)، حيث من الواضح إنه بزياده معامل الاحتكاك ينخفض مستوى الماء في الخزان، وهذا راجع إلى أنه مع زيادة معامل الاحتكاك تزداد المقاومة لسريان الماء وتنخفض سرعته، وهذ ناتج عن إجهادات القص العالية التي تحدث بين جدار الأنبوب والماء الذى يسرى فيه. من خلال النتائج فإن مستوى الاندفاع المفاجئ للماء بالخزان ينخفض من حوالي 17 متر عندما يكون معامل الاحتكاك (C=0) إلى حوالي 7.5 متر، عندما يكون معامل الاحتكاك (C=0.0004)، ويمكن ملاحظة أنه عند معامل الاحتكاك (C=0) لا يحدث أي تخميد للتقلبات أو التذبذبات في مستوى الماء بالخزان، وعلى هذا الأساس فإنه كلما كان الأنبوب المستخدم في المحطات الكهرومائية خشنا كلما ساعد ذلك على التقليل من مشكلة مطرقة الماء وتخفيض حجم الخزان.



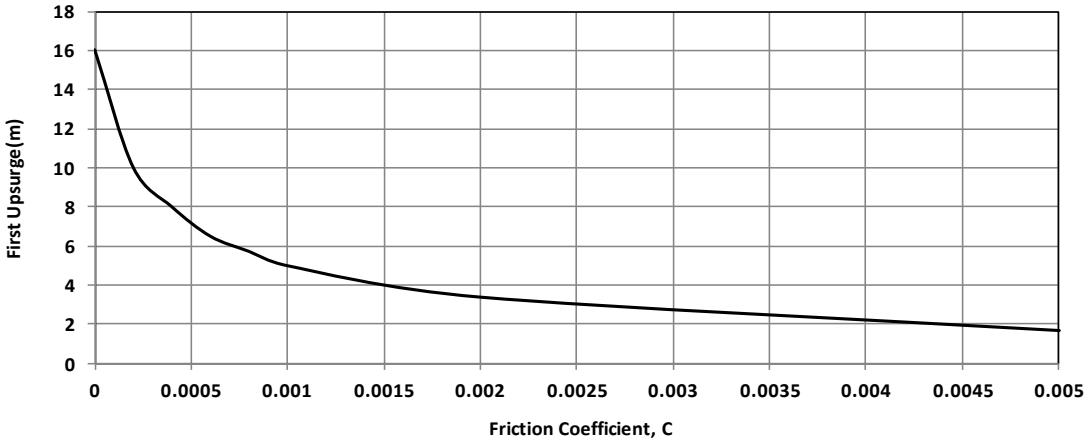
الشكل (5): تغير مستوى الماء في الخزان مع الزمن عند (C= 0.0, 0.0002, 0.0004)

تأثير تغيير مساحة مقطع الخزان ومعامل الاحتكاك على مستوى الاندفاع الأول :

من خلال النتائج السابقة فإن مستوى الاندفاع الأول للماء بالخزان يعد من أهم المتغيرات التي يجب على المصمم أخذها بعين الاعتبار. الشكل (6-أ) يوضح تأثير زيادة مساحة مقطع الخزان على مستوى الاندفاع الأول بالخزان كما هو متوقع فإنه بزيادة مساحة مقطع الخزان يقل مستوى الاندفاع الأول للماء بالخزان. من الشكل يمكن ملاحظة أن معدل التغير في مستوى الاندفاع الأول للماء بالخزان بعد قيمة (A_s = 550 m^2) يكون بسيطا عند مقارنته بنظيره قبل هذه القيمة، لهذا فإنه من غير المجدي زيادة مساحة مقطع الخزان أكثر من هذه القيمة. وبالأسلوب نفسه فإن الشكل (6-ب) يوضح تأثير زيادة معامل الاحتكاك على مستوى الاندفاع الأول للماء بالخزان، حيث إنه بزيادة معامل الاحتكاك يقل مستوى الاندفاع الأول للماء بالخزان بشكل ملحوظ. ويمكن ملاحظة أيضا أنه بزيادة معامل الاحتكاك عن القيمة (C=0.003) لن يكون مجديا، حيث إن التغير في مستوى الاندفاع الأول للماء بالخزان لن يكون كبيرا. والجدير بالذكر أن هذا المتغير (معامل الاحتكاك) من الصعب التحكم فيه، لأنه يتأثر بكثير من العوامل المختلفة مثل: خشونة جدار الأنبوب، نوع ملحقات الانبوب المستخدمة، طوبوغرافيا المكان، أبعاد خط الأنابيب، الموقع، فترة التشغيل، نمو الطحالب، الشوائب والرواسب، خواص السائل ...الخ.



الشكل (6–أ): تغير مستوى الاندفاع الأول مع مساحة مقطع الخزان.



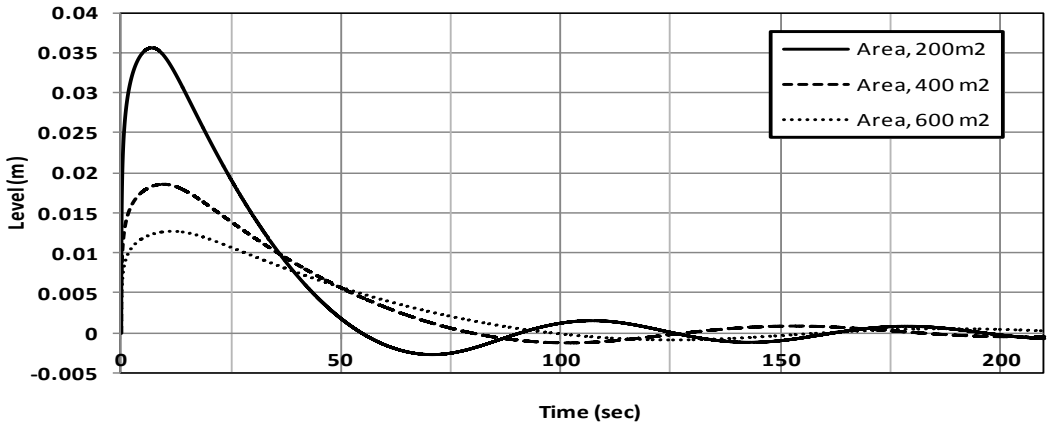
الشكل (6–ب): تغير مستوى الاندفاع الأول مع معامل الاحتكاك

الخزان ذو الفتحة

تأثير تغيير مساحة مقطع الخزان على مستوى الماء في الخزان:

في الشكل (7)، تم توضيح تأثير تغيير مساحه مقطع الخزان ذي الفتحة على مستوى الماء في الخزان، من الواضح أنه إذا زادت مساحه مقطع الخزان انخفض مستوى الماء فيه، أي أن هناك تناسبا عكسيا بينهما، ومن خلال الشكل المبين أدناه، يمكن ملاحظه أن مستوى الاندفاع الأول في الخزان ينخفض من 0.36 متر عند مساحه مقطع 200 ($م^2$) إلى حوالي 0.0125 متر عند مساحه مقطع 600 ($م^2$). والجدير بالملاحظة أن مستوى الاندفاع المفاجئ في الخزان ذي الفتحة أقل بكثير من مثله في الخزان البسيط وهذا راجع إلى تأثير الفتحة حيث إن الفقد في عمود الضغط والناتج عن

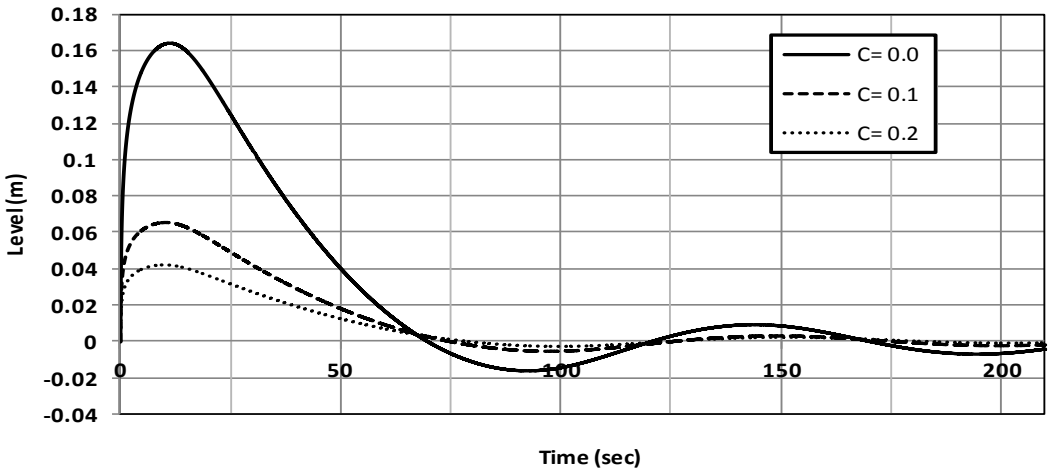
تأثير معامل الاحتكاك للفتحة (C_{orf}) يكون كبيرا وملحوظاً عند المقارنة مع الخزان البسيط، بالإضافة إلى أن زمن تخميد الموجة في الخزان ذي الفتحة أقل بكثير من نظيره بالخزان البسيط.



الشكل(7): تغير مستوى الماء في الخزان ذو الفتحة مع الزمن.

تأثير تغير معامل الاحتكاك على مستوى الماء في الخزان :

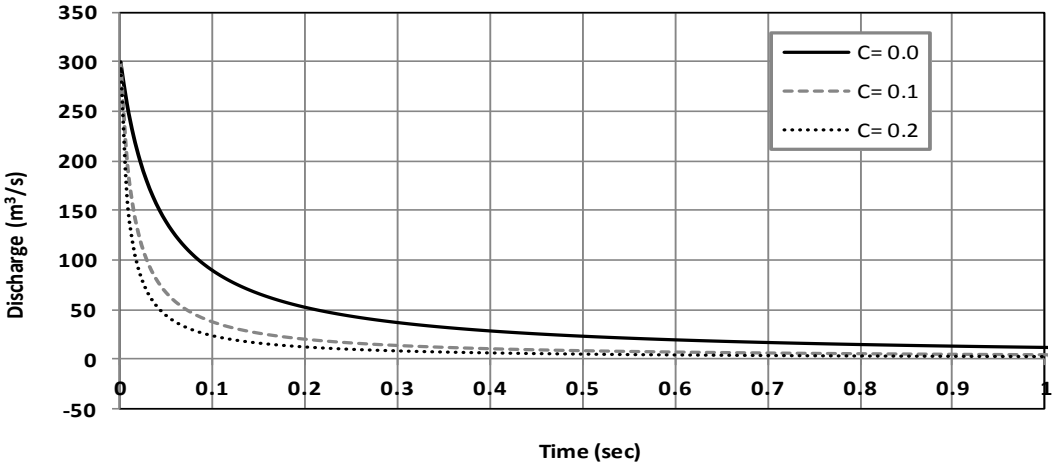
تأثير تغيير معامل الاحتكاك على مستوى الماء في الخزان ذي الفتحة تم توضيحه في الشكل (8)، من الواضح أنه بزيادة معامل الاحتكاك ينخفض مستوى الماء في الخزان وذلك لأنه مع زياده معامل الاحتكاك تزيد مقاومه الماء وتنخفض سرعته نتيجة لإجهادات القص العالية التي تحدث بين جدار الأنبوب والماء الذى يسري فيه، ومن خلال النتائج فإن مستوى الماء بالخزان ينخفض من حوالي 0.17 متر عندما يكون معامل الاحتكاك (C=0) إلى حوالي 0.041 متر عندما يكون معامل الاحتكاك (C=0.2)، ومن هنا يمكن ملاحظه التأثير الإيجابي لزيادة معامل الاحتكاك للأنبوب والذي يساعد على تقليل وتخفيض التذبذبات والتقلبات في مستوى الماء بالخزان.



شكل (8): تغير مستوى الماء في الخزان مع الزمن عند (C= 0.0, 0.1 & 0.2)

تأثير تغير معامل الاحتكاك على معدل التصريف :

في الشكل (9) تم توضيح تأثير تغير معامل الاحتكاك على معدل التصريف. حيث يتضح أنه بزياده معامل الاحتكاك تنخفض التذبذبات والتقلبات في معدلات التصريف الناتجة عن التأثير العابر(غير المستقر) . هذا يعزى إلى زياده إجهادات القص بين جدار الأنبوب والماء الذي يسرى فيه مع زياده معامل الاحتكاك . وهذا واضح من خلال الأشكال المبينة حيث تنخفض معدلات التصريف بشكل سريع كلما زاد معامل الاحتكاك.

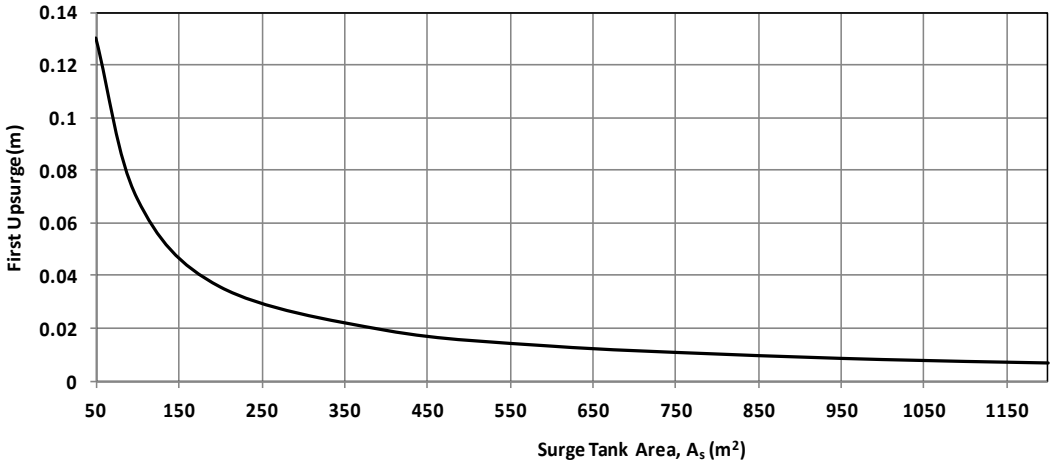


الشكل (9): تغير معدل التصريف مع الزمن.

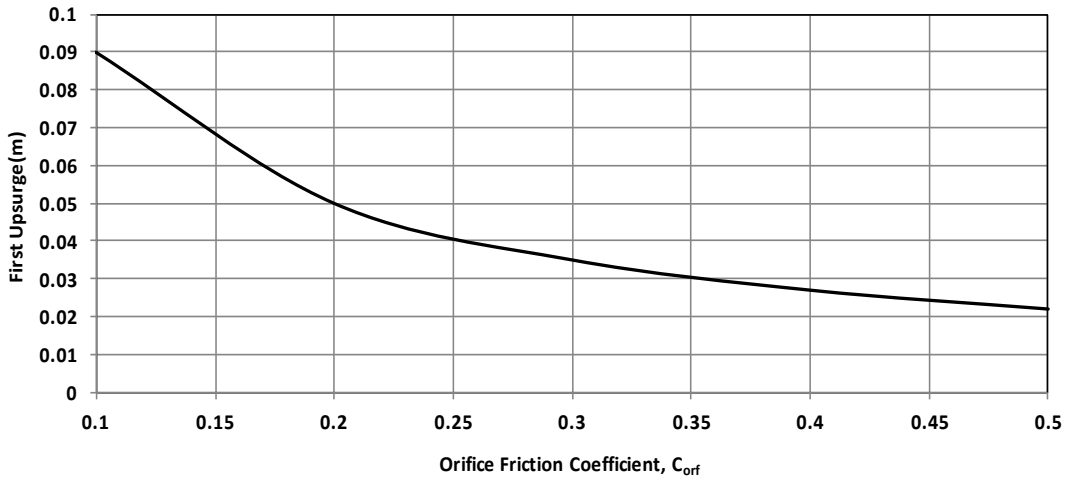
تأثير تغيير مساحة مقطع الحزان، معامل الاحتكاك للفتحة C_{orf} ومعامل الاحتكاك C، على مستوى الاندفاع الأول للماء في الخزان ذي الفتحة :

الشكل (10–أ) يوضح تأثير زيادة مساحة مقطع الخزان ذي الفتحة على مستوى الاندفاع الأول بالخزان. كما هو متوقع فإنه بزيادة مساحة مقطع الخزان يقل مستوى الاندفاع الأول للماء بالخزان. من الشكل يمكن ملاحظة أن معدل التغير في مستوى الاندفاع الأول للماء بالخزان بعد قيمة (A_s= m^2 400)، يكون بسيطاً عند مقارنته بنظيره قبل هذه القيمة، لهذا فإنه من غير المجدي زيادة مساحة مقطع الخزان أكثر من هذه القيمة. و بالأسلوب نفسه فإن الشكل (10–ب) يوضح تأثير زيادة معامل الاحتكاك للفتحة على مستوى الاندفاع الأول للماء بالخزان، حيث إنه بزيادة معامل الاحتكاك للفتحة، فإن مستوى الاندفاع الأول للماء بالخزان يقل بشكل ملحوظ. ويمكن ملاحظة أيضاً أنه بزيادة معامل الاحتكاك للفتحة عن القيمة (C_{orf}=0.35) لن يكون مجديا، حيث إن التغير في مستوى الاندفاع الأول للماء بالخزان لن يكون كبيراً.

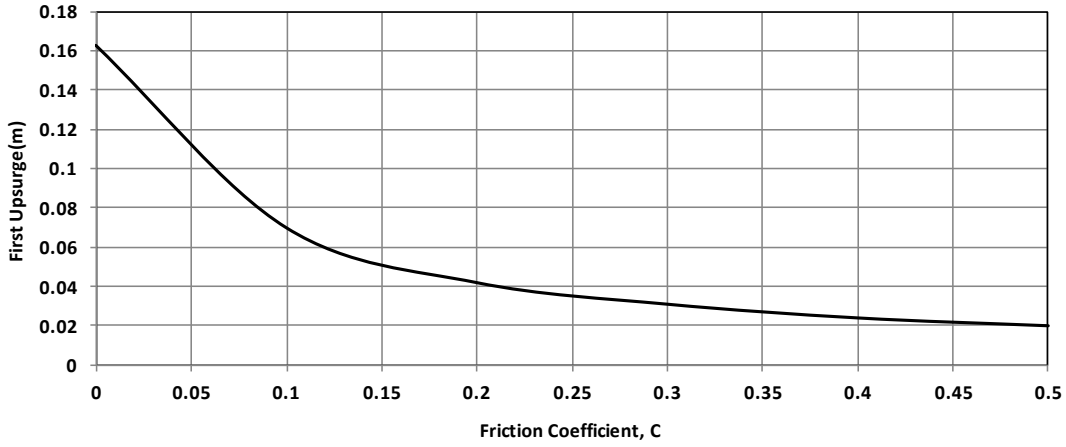
الشكل (10–جـ) يوضح تأثير زيادة معامل الاحتكاك على مستوى الاندفاع الأول للماء بالخزان، حيث إنه بزيادة معامل الاحتكاك يقل مستوى الاندفاع الأول للماء بالخزان بشكل ملحوظ ، ويمكن ملاحظة أيضا أنه بزيادة معامل الاحتكاك عن القيمة (C=0.2) لن يكون مجدياً، حيث إن التغير في مستوى الاندفاع الأول للماء بالخزان لن يكون كبيراً. والجدير بالذكر أنه يمكن ملاحظة انخفاض مستوى الاندفاع الأول بشكل عام في الخزان ذي الفتحة عند مقارنته بنظيره في الخزان البسيط.



الشكل (10–أ): تغير مستوى الاندفاع الأول مع مساحة مقطع الخزان.



الشكل (10–ب): تغير مستوى الاندفاع الأول مع معامل الاحتكاك للفتحة.



الشكل (10–جـ): تغير مستوى الاندفاع الأول مع معامل الاحتكاك.

الاستنتاجات :

في هذه الدراسة تم إجراء مقارنة بين بعض أنواع خزانات التموج المستخدمة في تخميد موجة الاندفاع المفاجئ للماء الناتجة عن مشكلة مطرقة الماء في المحطات الكهرومائية. تم تطبيق هذه الدراسة على نوعين من أنواع خزانات التموج هما الخزان البسيط والخزان ذو الفتحة. تم استخدام نموذج رياضي مبني على أساس اشتقاق معادلة الاستمرارية ومعادلة كمية الحركة (الزحم)، وتطبيق المبادئ الأساسية لميكانيكا الموائع على الخزانين. تم حل المعادلات التفاضلية العادية الحاكمة عدديا باستخدام طريقة رانج–كوتا وبالاستعانة ببرامج الحاسب الآلي وفق الشروط الابتدائية والظروف التشغيلية، بهدف معرفة تأثير العوامل المختلفة مثل مساحة مقطع الخزان، معامل الاحتكاك لجدار الأنبوب ومعامل الاحتكاك

للفتحة على مستوى الماء بالخزان، معدلات تصريف المياه وزمن تخميد الموجة. يمكن تلخيص أهم نتائج الدراسة في الآتي:

بشكل عام لوحظ أنه بزيادة ساحه مقطع خزان التموج انخفض مستوى الاندفاع المفاجئ للماء في الخزانين سواء البسيط أو ذو الفتحة، وكذلك فإن زياده مساحه مقطع الخزان أدت إلى انخفاض في التقلبات والتذبذبات في معدلات تصريف المياه، وكذلك في الزمن اللازم لتخميد الموجه، مع ملاحظة الانخفاض الكبير في هذه المتغيرات في الخزان ذي الفتحة عند مقارنتها بنظيراتها في الخزان البسيط. أما بالنسبة لمعامل الاحتكاك لجدار الأنبوب بخط الأنابيب فإنه كلما زاد معامل الاحتكاك قل مستوى الاندفاع المفاجئ بالخزان وانخفضت أيضاً التقلبات والتذبذبات في معدلات تصريف المياه. وبنفس الأسلوب فإن معامل الاحتكاك للفتحة في الخزان ذي الفتحة كان له أثر كبير في أفضلية عمل هذا النوع من الخزانات عند مقارنته بالخزان البسيط حيث لوحظ أنه بزيادة معامل الاحتكاك للفتحة، انخفض مستوى الماء بالخزان ذو الفوهة وانخفضت أيضا حدة التقلبات والتذبذبات في معدلات التصريف وكذلك زمن تخميد الموجة. ومما تقدم يمكن اعتبار أن الخزان ذا الفتحة أفضل من الخزان البسيط، ويمكن استخدامه لحل مشكلة مطرقة الماء بعد الأخذ بعين الاعتبار أن القرار النهائي باستخدام هذه الخزانات يعتمد أيضاً على عوامل أخرى نذكر منها: التكلفة، وطوبوغرافيا المكان، والموقع، والظروف التشغيلية، والمعدات والآلات المستخدمة، ومتطلبات الحمل على التربينه، والعمالة ...الخ.

المراجع:

- Ramadan A.M & Mustafa .H (2013),” Surge Tank Design Considerations for Controlling Water Hammer Effects at Hydro-electric Power Plants”, University Bulletin – Issue No.15 – Vol . 3, pp 147-160.
- Ghulam N., Habib-ur-Rehman, Muhammad K. and Muhammad T. (2011),” Hydraulic Transient Analysis of Surge Tanks: Case Study of Satpara and Golen Gol Hydropower Projects in Pakistan”, Pak. J. Engg. & Appl. Sci. , Vol. 8, Jan., pp 34-48.
- Azhdary M. (2004),“ Analysis and Design of a Simple Surge Tank”, IJE Transactions A:Basics, Vol. 17, No.4, pp 339-345.
- Verhoeven R., Van Poucke L. and Huygens M. (1998),” Water Hammer Protection with Air Vessels, a Comparative Study”, Transactions on Engineering Sciences,Vol 18, pp 1743-3533.

- Pinar B. (2013),” Numerical Investigation of Effective Surge tank Dimensions in Hydro-power Plants under various Hydraulic Conditions”, Msc Thesis, METU.
- Urbanowicz K., Firkowski M. and Zarzycki Z (2016),” Modeling Water Hammer in Viscoelastic Pipelines: Short Brief”, Journal of Physics: Conference Series 760, pp 1-11.
- Chaudhry M.H. (1987)," Applied Hydraulic Transients", Van Nostrand Reinhold, NewYork, 2nd edition.