

مقایسه روشهای کنترل جریان میرای هیدرولیکی ناشی از ضربه قوچ

یوسف زندی - عضو هیات علمی گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی تبریز

[Email:zandi@iaut.ac.ir](mailto:zandi@iaut.ac.ir)-TL:09141156687

چکیده :

پدیده ضربه قوچ که در برخی از متون فارسی از آن به عنوان چکش آبی نیز نام برده شده است یکی از پدیده های مخرب هیدرودینامیکی در جریانهای تحت فشار ناپایدار است که بروز آن می تواند موجب خسارات و صدمات گوناگون در بعضی از سیستمهای هیدرولیکی نظیر خطوط انتقال آب، نفت، شبکه های توزیع، سیستمهای پمپاژ و جریانات ثقلی شود. روشهای گوناگون کنترل ضربه قوچ، کلا یک هدف مشترک را دنبال می کنند و آن تعدیل فشار ناشی از ضربه قوچ تا حد فشار قابل قبول در شبکه است. در این مقاله روشهای کنترل جریان میرای هیدرولیکی شامل اقدامات حفاظتی و طراحی لوله های رانش بر اساس سرعتهای کم و استفاده از چرخ طیار و همچنین استفاده از شیر یک طرفه و همچنین نصب شیرهای هوایی و شیرهای کنترل فشار و نصب مخازن موجگیر و نصب محفظه هوایی بررسی و مقایسه خواهد شد به گونه ای که بتوان با شرایط مختلف مرزی ابتدا و انتهای خط انتقال را از نظر حداکثر و حداقل فشار موجود با توجه به خفگیهای متفاوت در گلوگاه اتصال در مسیر اصلی مورد ارزیابی قرار داد.

واژه های کلیدی: ضربه قوچ ، چرخ طیار ، مخزن موج گیر ، محفظه هوایی ، پمپ

1-مقدمه:

مطالعه جریانهای ناپایدار (unsteady flow) در پروژه های مهندسی خط لوله و ایستگاههای پمپاژ از اهمیت خاصی برخوردار می باشند. بطور کلی تجزیه و تحلیل جریانهای ناپایدار در سیستمهای مختلف به دو روش عمده زیر انجام می شود: الف - سرچ (SURGE) یا تئوری ستون صلب آب ب - ضربه قوچ (Water Hammer)

روشهای حل معادلات ضربه قوچ:

1-روش ترسیمی 2-روش حسابی 3-روش جبری 4-روش مشخصه

2-اقدامات حفاظتی

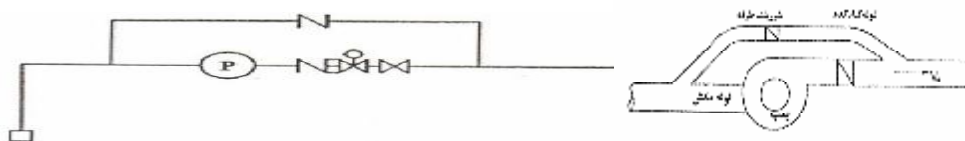
2-1-استفاده از چرخ طیار

به هنگام توقف ناگهانی موتور پمپ، هر چه انرژی جنبشی قسمتهای چرخنده موتور و پمپ بیشتر باشد، تغییرات دبی در خط رانش آرامتر صورت می گیرد. به همین سبب یکی از روشهای کاهش تأثیر ضربه قوچ در خط رانش

پمپ، ازدیاد ممان اینرسی (WR^2) اجزاء چرخنده پمپ می‌باشد. برای افزایش این ممان اینرسی، می‌توان از یک چرخ طیار، متصل بر محور موتور استفاده نمود. این نوع روش جلوگیری از پدیده ضربه قوچ معمولاً در ایستگاههای پمپاژ کوچک و برای خطوط انتقال حداکثر تا 3 کیلومتر مقرون به صرفه بوده و به کار گرفته می‌شود. لیکن باید توجه داشت که در صورت استفاده از چرخ لنگر (طیار) شدت جریان برق به هنگام راه‌اندازی پمپ به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد.

2-2- استفاده از لوله کنارگذر مجهز به شیر یکطرفه

همانطوریکه میدانیم، چون ازدیاد فشار ناشی از ضربت قوچ، نسبت مستقیم با تفاضل سرعت دارد، هر چه سرعت کمتر باشد، تأثیر ضربت قوچ نیز کمتر خواهد بود. در مواقعی که شدت فشار منفی به گونه ای باشد که فشار در ابتدای خط لوله انتقال به کمتر از فشار اتمسفر نزول نماید از مخزن تغذیه به لوله رانش، لوله کنار گذر نصب مینمایند. در شرایط عادی کار پمپ، فشار در لوله رانش بیشتر از فشار لوله مکش بوده، در نتیجه شیر یکطرفه در لوله کنارگذر بسته نگه داشته می‌شود. به هنگام از کار افتادن پمپ، ارتفاع نظیر فشار در لوله رانش به مقدار $\frac{aV_0}{g}$ کاهش می‌یابد. در نتیجه فشار در لوله رانش کمتر از فشار در لوله مکش شده و همین اختلاف فشار باعث باز شدن شیر یکطرفه شده و جریان مایع از طریق مسیر کنار گذر به لوله رانش برقرار می‌گردد و بدین ترتیب موجب افزایش فشار در لوله رانش شده و مانع از جدایی ستون مایع و بروز کاویتاسیون در خط لوله رانش می‌شود. شکل (1) در صورتی که لوله رانش در فاصله تا مخزن تخلیه دچار شکستگی شود احتمال وقوع کاویتاسیون وجود خواهد داشت که به علت عدم نصب شیر کنترل اتوماتیک قابل کنترل نمیشد [2].



شکل (1) شماتیک لوله کنارگذر مجهز به شیر یکطرفه

2-3- استفاده از شیر یکطرفه

این گونه شیرها در هنگام ایجاد فشار در پشت شیر یا در هنگام کارکرد پمپ، دریچه‌ای که در شیر تعبیه شده باز و تداوم جریان در لوله رانش برقرار می‌گردد. حال اگر جریان متوقف شود، این دریچه خودبخود بسته و به حالت اولیه خود بر خواهد گشت. به هنگام قطع جریان نیز (که منجر به تغییرات سرعت و ایجاد فشار ضربه قوچ می‌شود) شیر یکطرفه بسته شده و لذا موج فشار ضربه قوچ در محدوده شیر یکطرفه حادث می‌شود. اگر از شیر یکطرفه در مسیر خطوط لوله طویل استفاده شود، عملاً طول لوله جریان به چندین قطعه کوچکتر تقسیم شده و زمان رفت و برگشت موج به دلیل کوتاهی طول مسیر کاهش می‌یابد. در این حالت ضربات قوچی ایجاد شده در هر قطعه از مسیر تدریجی و کم بوده و لذا ممکن است با این تدبیر فشار موج ضربه قوچ قابل تحمل باشد. قابل توجه است که ضریب افت شیرهای یکطرفه نسبتاً زیاد (7 تا $K=2$) است. از اینرو استفاده از چند شیر یکطرفه برای کاهش فشار ضربه قوچ به علت افت انرژی و همچنین هزینه زیاد چندان معمول نیست.

2-4- نصب شیرهای هوا

منظور از استفاده از شیر هوا در یک سیستم انتقال را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

- 1- تخلیه هوا در هنگام پر نمودن خط لوله جریان و تخلیه هوا در هنگام بهره‌برداری
- 2- تغذیه هوا به درون لوله جریان در هنگام بروز فشار منفی و ضربه قوچ

2-5- نصب شیرهای کنترل فشار

این نوع شیرها دارای الکتروموتور بوده و عملکرد آنها به گونه ای تنظیم شده است که در ابتدای استارت پمپ، شیر کاملاً بسته بوده و پس از بروز سرعت دورانی اسمی در الکتروموتور به تدریج و در زمان بیش از 4tc شیر باز میشود

به طوری که تغییر سرعت در زمان بیش از 4tc اتفاق می افتد. همچنین در زمان خاموش کردن ابتدا شیر کنترل در مدت زمان بیش از 4tc به تدریج بسته شده و سپس موتور خاموش می گردد. از این نوع شیرها می توان در خروجی پمپ های سانتریفوژ (یا جریان شعاعی) و همچنین پمپ های جریان مختلط با سرعت مخصوص نزدیک به پمپ های سانتریفوژ (پمپ های شناخته شده با عنوان شناور یا مستغرق) استفاده نمود. نوع شیرهای به کار رفته معمولاً شیر پروانه ای گیربکس دار می باشد و در مواقع ویژه می توان از شیرهای کروی نیز استفاده نمود.

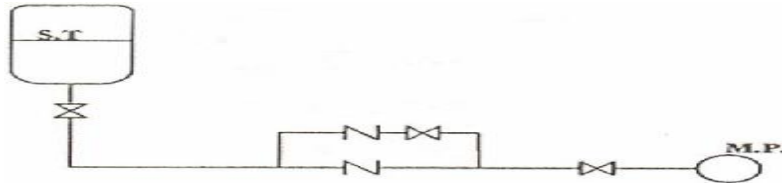
2-6- نصب شیرهای تنظیم فشار

این شیرها از نوع مکانیکی بوده و برخی از آنها نسبت فشار ورودی به خروجی را کنترل می نمایند و برخی دیگر فشار ورودی را مستقل از فشار خروجی تثبیت می کنند. بدین ترتیب در مواقعی که فشار خروجی متغیر باشد با استفاده از این شیرها که در خروجی پمپ و قبل از شیر قطع و وصل نصب می شوند می توان دبی تولیدی پمپ را در نزدیکی دبی بهینه ثابت نگاهداشت. از مزایای استفاده از این شیرها می توان به موارد زیر اشاره نمود.

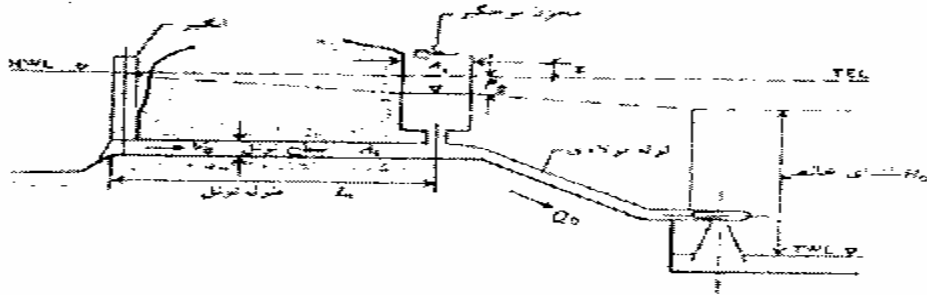
1- حفظ نقطه کاری بهینه پمپ و جلوگیری از بروز لرزش و استهلاک زودرس تاسیسات هیدرولیکی و الکتریکی
2- ایجاد شرایط پایدار و افزایش عمر مفید تاسیسات 3- جلوگیری از بروز کاویتاسیون در پمپ 4- این شیرها در فشارهای بالا و غیر مجاز (فشارهای بالاتر از حدی که طراح تعیین می نماید) باز شده و سیال را به بیرون هدایت می نمایند. این شیرها به محض اینکه فشار سیستم به حد فشار کاری نزدیک شود، دوباره بسته می گردند. بطور مسلم از این گونه شیرها در انتقال سیالاتی مانند گاز، نفت، مواد پتروشیمی و بخار در محوطه مسقف و در مواردی که سیال سمی و خطرناک است استفاده نمی شود. این شیرها برای کنترل و تخفیف فشار امواج مثبت ضربه قوچ مفید هستند [3].

2-7- نصب مخازن موج گیر

مخزن موج گیر بصورت لوله، استوانه یا شفت عمودی یا یک مخزن ذخیره آب است که در مسیر پایین دست جریان انتقال آب (از یک سد) به توربین قرار می گیرد یا بر روی لوله رانش پمپ نصب می گردد. در مواقعی که فشار در لوله افزایش می یابد سیال از داخل خط لوله وارد مخزن شده و در آن ذخیره می گردد و بعکس هنگامی که فشار در خط لوله کاهش می یابد سیال از داخل مخزن وارد لوله می گردد و بدین ترتیب از تغییرات سریع سرعت جلوگیری می نماید. این مخازن در دو نوع دوطرفه و یکطرفه ساخته می شوند. مخازن دوطرفه در هر دو پرورد افزایش و کاهش فشار وارد مدار شده و برای کنترل حداکثر و حداقل فشارهای ایجاد شده بکار برده می شوند و معمولاً در تاسیساتی بکار می روند که ارتفاع خط شیب هیدرولیکی نسبت به خط لوله زیاد نباشد [3]. در مخازن موج گیر یکطرفه، سیال فقط به هنگام کاهش فشار در خط رانش، از داخل مخزن به لوله جریان یافته و برگشت سیال از خط لوله به داخل مخزن به علت نصب شیر یکطرفه امکان پذیر نیست شکل (3). این نوع مخازن معمولاً در سیستمهای ایستگاه پمپاژ و خط لوله ای مورد استفاده قرار می گیرند که ارتفاع خط شیب هیدرولیکی، نسبت به خط لوله زیاد است. مخازن فقط می توانند از بروز فشارهای خیلی پایین جلوگیری نموده و، وسیله مطمئنی برای جلوگیری از پدیده جدایی ستون مایع می باشند ولی قادر به کنترل افزایش فشار نمی باشند. سطح آب در داخل این نوع تانکها به مراتب پایین تر از ارتفاع خط شیب هیدرولیکی می باشد. هنگامی که بدلیل از کار افتادن پمپ ارتفاع این خط کاهش یافته و کمتر از ارتفاع سطح آب داخل تانک می شود شیر یکطرفه باز شده و آب از داخل تانک وارد خط لوله می گردد. اثر این نوع تانکها بر روی خط شیب هیدرولیکی در شکل (4) نشان داده شده است. قابل توجه است که ارتفاع خط شیر هیدرولیکی در محل نصب مخازن موج گیر برابر با ارتفاع سطح آب داخل این نوع مخازن می باشد. نوسانات سطح آب در داخل موج گیر به طور معکوس متناسب است با سطح مخزن موج گیر، و اگر سطح تأمین شده خیلی بزرگ باشد، موجها به سرعت از بین می روند. اگر چه این شرایط برای دستیابی خیلی سریع به یک حالت تعادل مطلوب است، اما طرح غیر اقتصادی خواهد بود. از طرف دیگر، اگر سطح مخزن خیلی کوچک باشد، نوسانات ناپایدار شده که غیر قابل قبول است، بنابراین انتخاب مقطعی که در آن نوسانات طی دوره ای کوتاه از زمان پایدار شوند، ضروری است.



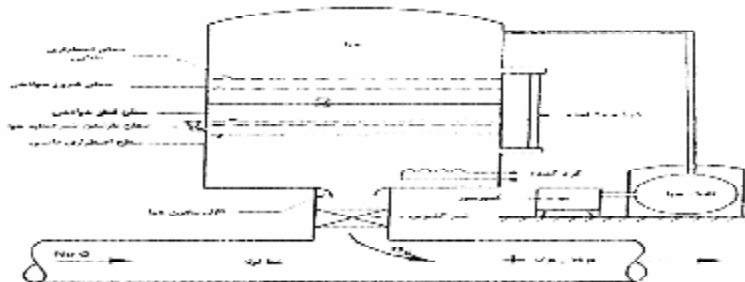
شکل (3) شماتیک یک مخزن موج گیر یکطرفه



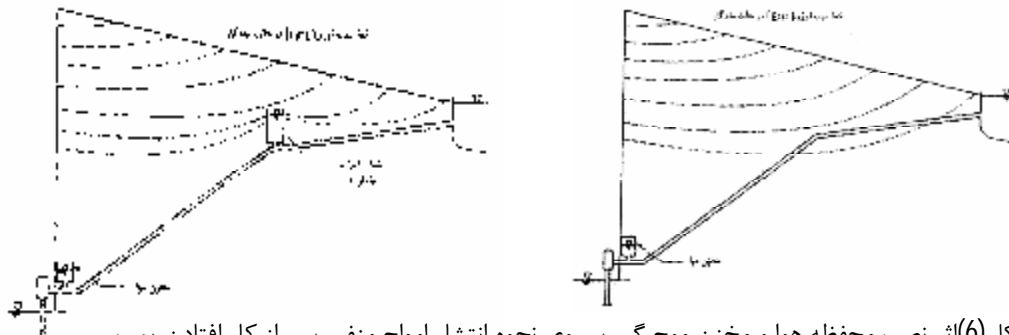
شکل (4) اثر مخازن موج گیر بر روی خط شیب هیدرولیکی

8-2- نصب محفظه هوا

محفظه هوایی عبارت است از مخزن سر بسته تحت فشار مجهز به یک دستگاه کمپرسور است که بخش بالایی آن حاوی هوای فشرده بوده و به وسیله یک پرده دیافراگم کاملاً ارتجاعی از بخش پایینی آن که محتوی آب است جدا می‌شود. قسمت تحتانی محفظه نیز به لوله رانش متصل است. بین پمپ و محفظه هوایی یک شیر یکطرفه تهیه می‌شود تا مانع برگشت آب از لوله رانش به داخل پمپ گردد (شکل (5)).



شکل (5) شماتیک یک محفظه هوایی به همراه تجهیزات مربوطه

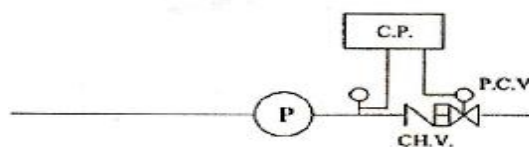


شکل (6) اثر نصب محفظه هوا و مخزن موج گیر بر روی نحوه انتشار امواج منفی پس از کار افتادن پمپ این مخازن در کنترل مقدار حداقل و حداکثر فشار در خط لوله رانش نقش بسیار مهم و اساسی را ایفاء می‌کنند. بعد از، از کار افتادن پمپ و کاهش فشار در خط لوله، هوای فشرده در مخزن باعث می‌شود تا آب از مخزن هوا به خط لوله جریان یابد. در نتیجه هوای درون مخزن انبساط یافته و فشار آن کاهش می‌یابد. تغییرات فشار هوای موجود در محفظه هوا بستگی به حجم اولیه هوا، میزان آب تخلیه شده و همچنین فرآیند ترمودینامیکی هوای

موجود در داخل محفظه دارد. با تخلیه آب از درون مخزن به خط لوله، کاهش سرعت آب در لوله بتدریج صورت گرفته و از فشارهای کم جلوگیری به عمل می‌آید که در نتیجه، پدیده جدایی ستون آب رخ نخواهد داد (شکل 6). همچنین در حالتی که فشار در خط لوله بالا می‌رود، جریان آب به داخل مخزن هدایت شده و هوای درون آن فشرده می‌گردد که در نتیجه از شدت فشار سیال در خط لوله کاسته می‌شود.

3- جلوگیری از بروز کاویتاسیون در پمپ ها

برای جلوگیری از بروز کاویتاسیون می باید در هر شرایطی $NPSH_A$ (بار خالص مثبت مکش موجود) بزرگتر از $NPSH_R$ (بار خالص مثبت مکش لازم) باشد. لذا می بایست روشهای زیر مورد بررسی قرار گیرد: 1- افزایش $NPSH_A$ (بار خالص مثبت مکش موجود) 2- ارتفاع نصب پمپ نسبت به سطح عنوان در مخزن تغذیه در صورتی که سطح آب در مخزن تغذیه متغیر باشد پایینترین سطح آب به عنوان ارتفاع مبنا مورد عمل خواهد بود. مثلا در چاهها پایین ترین سطح ایستایی (سطح دینامیک) و در برداشت از رودخانه ها و مخازن شهری پائین ترین سطح آب مد نظر می باشد. 3- کاهش تعداد اتصالات و شیرآلات در لوله مکش (کاهش افت های موضعی فشار) 4- کاهش طول لوله مکش (کاهش افت های طولی) 5- افزایش قطر لوله مکش 6- کاهش $NPSH_R$ (بار خالص مثبت مکش لازم) 7- استفاده از پمپ های با $NPSH_R$ (بار خالص مثبت مکش لازم) کمتر با به کارگیری پمپ های با سرعت دورانی پایینتر ، با ورودی دو طرفه و شکل ورودی خاص 8- عدم استفاده از زانویی بلافاصله در ورودی پمپ و یا تبدیل کوتاه یا شکسته در ورودی پمپ 9- کاهش دبی پمپاژ هر پمپ با استفاده از تعداد پمپ های بیشتر که به صورت موازی بسته شده باشند. بدیهی است هنگامی که پمپ ها به صورت موازی بسته می شوند، تولید هر پمپ در صورت کارکرد همزمان کلیه پمپ های مجاز در مسیر از تولید هر پمپ زمانی که برخی از پمپ ها از مدار خارج شوند، کمتر خواهد بود. لذا با خارج شدن پمپ ها از مدار $NPSH_R$ (بار خالص مثبت مکش لازم) سایر پمپ ها افزایش یافته و احتمال بروز کاویتاسیون بیشتر می شود. برای کنترل $NPSH_R$ (بار خالص مثبت مکش لازم) به گونه ای که هیچگاه از $NPSH_A$ (بار خالص مثبت مکش موجود) بیشتر نشود لازم است: سرویس مناسب شیرآلات به خصوص شیرآلات لوله مکش مرتبا صورت پذیرد. از شیرهای کنترل در خروجی پمپ استفاده گردد به طوری که با کاهش فشار خروجی (افزایش دبی) به طور اتوماتیک به مقداری بسته شود که فشار خروجی پمپ ثابت بماند. بدین منظور یک دستگاه فشار سنج حساس در خروجی پمپ (قبل از شیر یکطرفه) نصب شده و فشار خروجی پمپ را به تابلوی کنترل (C.P) گزارش می نماید (شکل 7). دستور باز یا بسته شدن به میزان کافی به شیر کنترل از تابلوی کنترل ارسال می شود به طوری که در صورت بروز فشارهای پایین ، شیر مربوطه به حد مورد نیاز بسته شده و در مواقع بروز فشار بیشتر مجددا باز میگردد.



شکل (7) نحوه کنترل فشار خروجی پمپ

4- ارزیابی وضعیت فعلی 8 ایستگاه پمپاژ مهم استان آذربایجان شرقی

ایستگاههای پمپاژ مورد مطالعه در این پروژه ، شامل 8 ایستگاه پمپاژ بوده که به ترتیب بازدیدی که از آنها به عمل آمده ، عبارت از یک ایستگاه در بناب، یک ایستگاه در شبستر ، سه ایستگاه در خامنه ، یک ایستگاه در سیس ، یک ایستگاه در صوفیان ، یک ایستگاه در کلوانق ، برخی از ایستگاههای فوق دارای عمر بیش از 30 سال می باشند و برخی دیگر حداکثر عمر کمتر از شش سال دارند . طراحی اولیه برخی از ایستگاهها توسط مهندسين مشاور و با مسؤولیت اجرایی شرکت آب منطقه ای آذربایجان صورت گرفته و بعضی دیگر بدون استفاده از مشاور و بصورت امانی طرح و اجرا گردیده اند . به طوری که هیچگونه مدرک و مستند طراحی و اجرا از آنها در آرشیو شرکت آب و

فاضلاب آذربایجان شرقی وجود ندارد. بهره برداری از این ایستگاهها اغلب به صورت امانی و توسط ادارات تابعه شرکت صورت می گیرد و صرفاً ایستگاههای میانه به صورت نیمه دولتی مورد بهره برداری قرار گرفته اند. در این مقاله وضعیت محاسبات هیدرولیکی خط انتقال ایستگاه پمپاژ بناب بررسی و نتایج لازم برای این ایستگاه ارائه گردیده است و برای سایر ایستگاهها صرفاً نتایج لازم مورد ارزیابی قرار گرفته است.

4-1-1- ایستگاه پمپاژ بناب

4-1-1-1- محاسبات هیدرولیکی خط انتقال ایستگاه پمپاژ بناب

در ایستگاه پمپاژ بناب با ارتفاع 1380 متر جهت خنثی نمودن اثرات ضربه قوچ از لوله رانش استفاده شده است. با توجه به رابطه $TDH = H_{st} + RQ^2$ دبی های هر یک از دو پمپ محاسبه گردیده است. خلاصه ارزیابی محاسبات هیدرولیکی با توجه به پمپها و وضعیت موجود در جدول (1) آورده شده است. مشخصات خط 1 (از ایستگاه تا شبکه) به شرح زیر می باشد:

$L = 80 \text{ m}$	$\Sigma K = 3.85$ مکش	$R = 265$ مکش
$D = 300 \text{ mm}$	$\Sigma R_{150} = 2.5$ رانش هر پمپ	$R_{150} = 110$
$e = 1 \text{ mm}$	$\Sigma K_{300} = 3.3$	$R_{300} = 110$
$H_{st, \max} = 20$	$H_{st, \min} = 15$	

در نتیجه: $R_t = 485$

4-1-1-2- تاسیسات مکانیکی تلمبه خانه

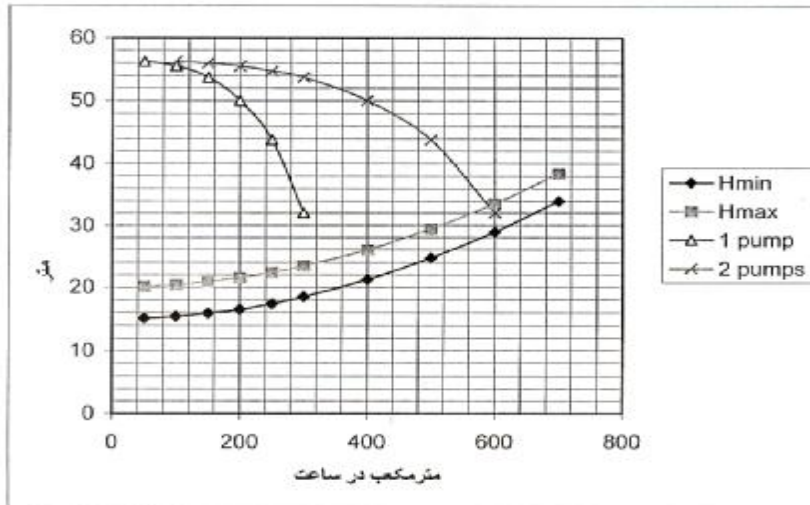
ایستگاه پمپاژ بناب دارای سه دستگاه الکتروپمپ (1+2) می باشد (پمپ چهارمی نیز برای تخلیه لجن مخزن زمینی در تلمبه خانه نصب شده است).

جدول (1) خلاصه محاسبات هیدرولیکی ایستگاه پمپاژ بناب

2 Pump	1 Pump	H st, max	H st, min	Q	
				Lit/sec	m ³ /hr
	56/2	20,1	15,1	13/9	50
56/2	55/5	20,4	15,4	27/8	100
55/9	53/7	20,9	15,9	41/7	150
55/5	50/0	21,5	16,5	55/6	200
54/7	43/8	22,4	17,4	69/5	250
53/7	32/0	23,5	18,5	83/3	300
50		26,2	21,2	111/1	400
43/8		29,7	24,7	138/9	500
32		33,9	28,9	166/7	600
		38,9	33,9	194/4	700

4-1-1-3- نقطه کارکرد ایستگاه پمپاژ در شرایط مختلف کاری

با توجه به پمپ های نصب شده به صورت موازی و تغییر منحنی مشخصه سیستم خطوط لوله بین دو حالت مرزی حداقل و حداکثر، شرایط کاری ایستگاه پمپاژ که نمودار آن در شکل شماره (8) نشان داده شده، مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به منحنی های مشخصه پمپ ها و خط انتقال ملاحظه میگردد: در صورت وجود ارتفاع استاتیک حداقل (15 متر) در هیچ شرایطی کارکرد پمپها در محدوده قابل قبول نبوده و احتمال کاویتاسیون در آنها وجود دارد. به طوری که $NPSH_R$ (بار خالص مثبت مکش لازم) پمپ به بیش از 6 متر می رسد و از سوی دیگر به علت کاهش شدید راندمان مصرف انرژی در پمپ تلفات انرژی بالا بوده و به علت افزایش شدت جریان برق احتمال داغ شدن موتور و سوختن آن وجود خواهد داشت. همچنین در این حالت پمپ دچار لرزشهای شدید شده و خسارات ناشی از آن دور از انتظار نیست. مگر اینکه شیب منحنی مشخصه خط لوله با ایجاد افت فشار مصنوعی (توسط شیرهای خروجی) به گونه ای افزایش یابد که نقطه تلاقی دو منحنی در محدوده مناسب (بین 140 تا 250 متر مکعب در ساعت) قرار گیرد.



شکل (8) منحنی مشخصه شرایط کارکرد ایستگاه پمپاژ بناب

نتایج ارزیابی ایستگاه پمپاژ شبستر: در ایستگاه پمپاژ شبستر با ارتفاع پمپاژ 1480 متر جهت خنثی نمودن اثرات ضربه قوچ از یک تانک ضربه گیر استفاده شده است. بر اساس منحنی مشخصه در حالتی که ارتفاع استاتیک پمپاژ برابر با 139 متر منظور شود احتمال بروز کاویتاسیون در پمپ به میزان 118 متر مکعب در ساعت و ارتفاع 0/3 متر در مخزن تغذیه ایستگاه وجود ندارد. در شرایط دبی حداکثر هر پمپ به میزان 127 متر مکعب در ساعت نیز امکان بروز کاویتاسیون وجود ندارد. البته این در حالی است که در خط لوله انتقال هیچگونه اتفاقات بروز ننماید. در غیر این صورت به علت عدم وجود شیرهای کنترل در خروجی پمپ ها امکان کاویتاسیون و خرابی پمپ وجود خواهد داشت و متأسفانه یکی از دلایل عمده تعمیرات مداوم میباشد.

نتایج ارزیابی ایستگاه پمپاژ شماره یک و دو و سه خامنه: در هر سه ایستگاه با ارتفاع پمپاژهای 1520 و 1590 و 962 متر جهت خنثی نمودن اثرات ضربه قوچ از لوله رانش استفاده شده است. بر اساس منحنی مشخصه با توجه به افت فشار در لوله مکش، احتمال بروز کاویتاسیون در پمپ ها وجود ندارد؛ لیکن در صورتی که لوله رانش در فاصله تا مخزن تخلیه دچار شکستگی شود احتمال بروز کاویتاسیون وجود خواهد داشت که به علت عدم نصب شیر کنترل اتوماتیک قابل کنترل نمی باشد و علی رغم تعمیرهای مداوم مشکل ساز میباشد.

نتایج ایستگاه پمپاژ سیس: در این ایستگاه با ارتفاع پمپاژ 1350 متر برای جلوگیری از بروز ضربه قوچ، از لوله رانش استفاده شده است همچنین برای بروز کاویتاسیون دهانه مکش پمپ همواره باید حداقل 50 سانتیمتر پایین تر از سطح آب باشد. بدین ترتیب چنانچه در منبع تغذیه نیز مشاهده می شود ارتفاعی نزدیک 2 متر از مخزن به صورت حجم مرده در آمده است؛ در صورتیکه ارتفاع آب تا حد 1/7 متر از کف مخزن پایین بیاید، احتمال کاویتاسیون وجود خواهد داشت و علی رغم تعمیرهای مداوم مشکل ساز میباشد.

نتایج ارزیابی ایستگاه پمپاژ صوفیان: در این ایستگاه با ارتفاع پمپاژ 1410 متر برای کاهش اثرات ضربه قوچ در ایستگاه، یک دستگاه تانک ضربه گیر فولادی به حجم 4/5 متر مکعب با قطر 1450 میلیمتر و ارتفاع 2/70 متر (خالص) نصب شده است. در شرایط متعارف بهره برداری ایستگاه در هیچکدام از حالت های فوق کاویتاسیون بروز نمی نماید؛ برای شرایط اضطراری از قبیل شکستگی در جهت حفاظت سیستم از خطر کاویتاسیون باید تجهیزات کنترل فشار روی خط رانش نصب گردند.

نتایج ارزیابی ایستگاه پمپاژ کلوانق: در ایستگاه پمپاژ کلوانق با ارتفاع 380 متر جهت خنثی نمودن اثرات ضربه قوچ از لوله رانش استفاده شده است. در حالت کارکرد متعارف در این ایستگاه

کاویتاسیون بروز نمی‌نماید؛ لیکن برای مواقع اضطراری از قبیل شکستن لوله در مسیر باید تمهیدات لازم لحاظ گردد.

5- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعه انجام شده، نتایج زیر حاصل می‌شود:

1- با استفاده از لوله‌های موازی (انشعابی) می‌توان به عنوان راهکاری برای تعدیل فشارهای ناشی از ضربه قوچ مورد توجه قرار گیرد. مهمترین مشکل این سیستم شکسته شدن خط لوله انتقال در مسیر که باعث کاهش ارتفاع تلمبه زنی و افزایش $NPSH_R$ (بار خالص مثبت مکش لازم) تا حد خطرناک و بروز کاویتاسیون خواهد شد.

2- با توجه به اینکه رسیدن به ممان اینرسیهای زیاد به راحتی میسر نیست و نیز با توجه به اینکه نصب چرخ طیار، مصرف بالایی را در زمان راه‌اندازی پمپ مطالبه می‌کند، استفاده از چرخ طیار به منظور کنترل فشارهای بیشینه و کمینه نمی‌تواند به عنوان یک روش اقتصادی در ایستگاههای پمپاژ فشار قوی مورد توجه قرار گیرد.

3- ارتفاع زیاد آب در مخازن موج‌گیر بخوبی نشان دهنده عدم کارایی این مخازن در ایستگاههای پمپاژ می‌باشد.

4- حجم محفظه‌های هوایی بمنظور نگهداری حداقل و حداکثر فشار در محدوده معینی و برای کار یکسان ایده‌آل‌تر از مخازن موج‌گیر است.

5- یک محفظه هوایی را میتوان به موازات محور شیب طبیعی زمان نصب کرد، این مزیت علاوه بر اینکه از نظر اقتصادی مقرون به صرفه و هزینه‌های اجرایی فونداسیون را کاهش می‌دهد، در مقابل باد و زلزله نسبت به مخازن موج‌گیر مقاوم‌تر خواهد بود.

6- یک محفظه هوایی را میتوان نزدیک ایستگاه پمپاژ نصب کرد و در صورتیکه برای مخازن موج‌گیر عملاً بعلا ارتفاع زیاد امکان‌پذیر نیست.

7- بمنظور جلوگیری از یخ‌زدن مایع داخل محفظه هوایی در هوای سرد، هزینه‌های گرمایش مایع کمتر از هزینه گرمایش مایع مخزن موج‌گیر خواهد بود زیرا حجم مایع داخل محفظه‌های هوایی کمتر از مخازن موج‌گیر است، مضافاً بر اینکه محفظه‌های هوایی را میتوان در محل ایستگاه پمپاژ در محوطه سرپوشیده‌ای قرار داد. بنابراین در هوای سرد، هزینه گرمایش محفظه‌های هوایی به مراتب کمتر از هزینه گرمایش مایع مخازن موج‌گیر است.

8- حجم کم محفظه هوا (در مقایسه حجم زیاد مخازن موج‌گیر)، بیانگر این است که محفظه هوایی به عنوان یک ابزار مؤثر و مناسب، برای کنترل فشارهای ماکزیمم و مینیمم در ایستگاههای پمپاژ، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

9- ترکیب محفظه هوایی و تانک موج‌گیر با توجه اقتصادی به منظور کنترل فشارهای مینیمم، تأثیر چشمگیری در کاهش حجم محفظه هوایی نسبت به کنترل فشارهای ماکزیمم دارد.

10- در این مقاله با مقایسه انواع روشها (لوله رانش، چرخ طیار، نصب شیرهای هوا و شیرهای کنترل فشار، مخزن موج‌گیر، محفظه هوایی، ترکیب محفظه هوایی و مخزن موج‌گیر) برای کنترل فشارهای ناشی از ضربه قوچ و جلوگیری از بروز کاویتاسیون و همچنین در نظر گرفتن مسائل اقتصادی در ایستگاههای پمپاژ به ویژه در ایستگاههای بررسی شده استان آذربایجان شرقی، جایگزین نمودن محفظه هوایی به عنوان یک راهکار ایده‌آل توصیه میشود.

فهرست منابع

- [1]- زندگی-یوسف "کاویتاسیون در سرریزها" انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی تبریز (1384).
- [2]- زندگی-یوسف " بررسی پدیده ضربه قوچ در جریانات تحت فشار به ویژه در ایستگاههای پمپاژ استان آذربایجان شرقی و مقایسه روشهای کنترل آن، طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی (1384).
- [3]- Wood E.M. "history of waterhammer" report No. 65, department of civil engineering, queen's university at Kingston Ontario Canada april 1970.
- [4]- Karassik, I.J. & Kurtzsch, W.C. & Fraser, W.H. & Messina, J.P. "pump Handbook" McGraw-Hill Book Co. new york Sec. Edition 1996.
- [5]- Cykoeski, Ed., Tom connor, & Mike Spatt. "Designing Liquid pipe Lines for surge control in lines" oil & gas journal june 1998 pp.183-188.