محاسبه حجم مخازن مکش ایستگاه های پمپاژ در خط انتقال

سیاوش کلاهدوزیان*[۱]، بنیامین جاودانی یکتا[۲]، منصوره آتشی[۳]، مرضیه ایراندوست[۴]

۱- پژوهشگر مرکز پژوهشی مدیریت منابع محیط زیست ارم – مدیرپروژه شرکت مهندسی مشاور طوس آب ، کارشناسی ارشد مکانیک دانشگاه آزاد مشهد (siavash.kolahdoozian28@gmail.com)

۲- پژوهشگر مرکز پژوهشی مدیریت منابع محیط زیست ارم ، مدیر پروژه شرکت مهندسی مشاور طوس آب، کارشناسی ارشد عمران دانشگاه فردوسی مشهد(ben.javdani@gmail.com)

۳-سرگروه مرکز پژوهشی مدیریت منابع محیط زیست ارم –نماینده معاونت مطالعات و طراحی تهران شرکت مهندسی مشاور طوس آب ، دکتری سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه فردوسی مشهد (at.mansoureh@gmail.com)

۴- کارشناسی مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد،(marzieh.irandoost@gmail.com)

چکیده

در این مطالعات به محاسبه حجم مخازن مکش ایستگاه‌های پمپاژ مسیر خط انتقال با استفاده از سیستم کنترل ارتفاع آب در مخازن پرداخته شده است. آب توسط ۵ ایستگاه پمپاژ در خط انتقال فولادی به قطر ۲۲۰۰ میلیمتر با دبی عبوری ۷۹۵۰ لیتر بر ثانیه (۲۳۰ میلیون متر مکعب در سال)، به طول ۱۸۲ کیلومتر پمپاژ می‌گردد. مدلسازی هیدرولیکی مسیر خط انتقال توسط نرم افزار Water Gems V8i بصورت غیر یکنواخت (EPS) انجام شده است. حجم مخازن مکش به مدت زمان پیک مصرف برق و جبران خاموشی برنامه‌ریزی شده الکتروپمپ‌ها جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی، زمان استراحت پمپ‌ها بستگی دارد. دبی خط انتقال با توجه به عواملی مثل اختلاف افت فشار، جنس پوشش و نوع اجرای آن بین دو ایستگاه مختلف، با هم متفاوت می‌باشد که پر و یا خالی شدن مخازن را به دنبال خواهد داشت. در چنین شرایطی بسته به نیاز باید از طریق سیستم کنترل فرمان خاموش یا روشن شدن پمپ به ایستگاه‌های پمپاژ مورد نیاز ارسال گردد تا با کم و یا زیاد شدن دبی قطعه خط انتقال، سطح آب در مخزن متعادل کننده به شرایط عادی باز گردد. هسته اصلی سیستم کنترل وابسته به تغییرات سطح آب در مخازن می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که حجم بهینه مخازن مکش ایستگاه‌های پمپاژ ۴۰ هزار متر مکعب بوده که با حجم پیشنهاد شده در نشریه ۳-۱۱۷ تطابق خوبی را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی فارسی: مخزن مکش، ایستگاه پمپاژ، سیستم کنترل، الکتروپمپ

۱– مقدمه

کشور ایران تحت تأثیر شرایط جغرافیایی، اقلیمی، محیط زیستی و جمعیتی همواره با تنش و کمبود آب عمدتاً در نواحی فلات مرکزی و استانهای شرق و جنوب شرق کشور به ویژه در استانهای کرمان، سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و خراسان رضوی دست به گریبان بوده است. وجود بخش مهمی از مراکز صنعتی بزرگ و با مصرف آب بالا از جمله صنایع معدنی و نیز عدم دسترسی به آب کافی در مناطق شهری و روستایی نوار مرزی شرق کشور که باعث

تخلیه این مناطق و متعاقب آن پیامدهای حاشیه نشینی در شهرهای بزرگ گردیده است، نیاز به تأمین آب را در این مناطق پیوسته تشدید نموده و در آینده نیز با افزایش چشمگیری رو به رو خواهد نمود.

تحقق برنامه های توسعه در استانهای فلات مرکزی و شرق کشور تنها در صورت دسترسی به منابع آب پایدار عملی خواهد بود. به دلیل عدم وجود منابع آب جدید و قابل استحصال در چنین مقیاسی در منطقه و حتی حوضه های مجاور داخلی،چشم انداز تأمین این ماده حیاتی مستلزم اجرایی نمودن طرحهای نمکزدایی، تأمین آب از دریا و انتقال به محل های مورد نیاز جهت ترسیم افقی جدید برای نسلهای آینده است.

یکی از مهمترین بخش های سامانه انتقال آب ایستگاه های پمپاژ می باشد. جهت کارکرد بهینه ایستگاه های پمپاژ بایستی مخازن مکش دارای احجام کافی و مناسب باشند که محاسبه این احجام هم به لحاظ کارکرد ایستگاه و هم مسائل اقتصادی دارای اهمیت فراوانی می باشد(سیاوش کلاهدوزیان، ۱۴۰۱).

۲- هدف طرح

در پژوهش حاضر که مربوط به بخشی از خط انتقال آب به استان های شرقی کشور می باشد، به محاسبه حجم بهینه مخازن مکش در پنج ایستگاه پمپاژ پرداخته شده است.

آب از طریق خط انتقال به قطر ۲۲۰۰ میلیمتر و از جنس فولاد توسط ۵ باب ایستگاه پمپاژ با دبی انتقالی ۷۹۵۰ لیتر بر ثانیه (معادل ۲۳۰ میلیون متر مکعب در سال) پمپاژ می گردد. مسیر خط انتقال به طول ۱۸۲ کیلومتر از ایستگاه پمپاژ شماره ۱ در کد ارتفاعی ۱۱ متر آغاز و تا ایستگاه پمپاژ شماره ۵ در کد ارتفاعی ۸۴۰ متر ادامه می یابد.

۳- محاسبات هیدرولیکی مسیر خط انتقال

مسیر خط انتقال شامل ۵ باب ایستگاه پمپاژ با فشار کاری ۲۷/۵ بار می باشد. جدول ۱ مشخصات هیدرولیکی لوله های خط انتقال و جدول ۲ مشخصات ایستگاههای پمپاژ مسیرخط انتقال را نشان میدهد (سیاوش کلاهدوزیان، ۱۴۰۱).

جدول ۱- مشخصات هیدرولیکی لوله های خط انتقال

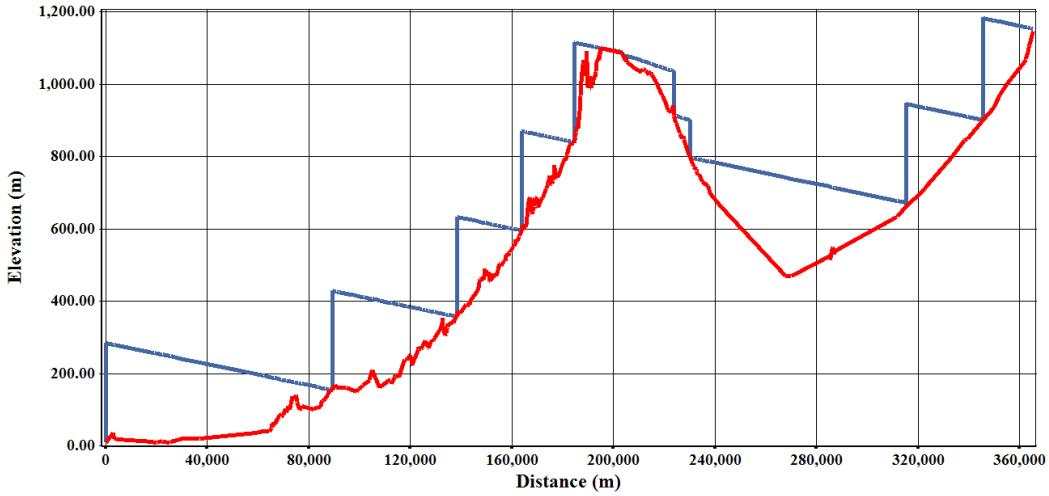
قطر نامی لوله(میلی-متر)	قطر خارجی لوله(میلی-متر)	جنس لوله	ضخامت جدار لوله (میلی‌متر)	دبی (لیتر/ثانیه)	سرعت لحظه ای جریان(متر/ثانیه)	افت در هزار(متر/کیلومتر)	طول لوله(کیلومتر)	حداکثر فشار کاری لوله(بار)
۲۲۰۰	۲۲۳۵	فولادی	۱۵	۷۹۵۰	۲/۰۹	۱/۴۷	۱۸۲	۲۷/۵

جدول ۲- مشخصات ایستگاههای پمپاژ مسیرخط انتقال

ایستگاه پمپاژ	دبی(لیتر/ثانیه)	ارتفاع ایستگاه پمپاژ از سطح دریا (متر)	ارتفاع پمپاژ(متر)	قدرت کل الکتروموتورها در نقطه کاری(کیلو وات)
ایستگاه پمپاژ شماره ۱	۷۹۵۰	۱۱	۲۷۵/۵	۲۶۳۳۰
ایستگاه پمپاژ شماره ۲	۷۹۵۰	۱۵۳	۲۷۵/۵	۲۶۳۳۰
ایستگاه پمپاژ شماره ۳	۷۹۵۰	۳۵۶	۲۷۵/۵	۲۶۳۳۰
ایستگاه پمپاژ شماره ۴	۷۹۵۰	۵۹۴	۲۷۵/۵	۲۶۳۳۰
ایستگاه پمپاژ شماره ۵	۷۹۵۰	۸۳۹	۲۷۵/۵	۲۶۳۳۰

مسیر خط انتقال به کمک نرم افزارWater Gems مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. در شکل۱ پروفیل هیدرولیکی

، حاصل از خروجی نرم افزار Water Gems نشان داده شده است.



شکل ۱- پروفیل هیدرولیکی، خروجی نرم افزار Water Gems

۴- محاسبه حجم مخازن مکش

جهت محاسبه حجم مخازن مکش بایستی تحلیل هیدورلیکی بصورت غیر یکنواخت (EPS) توسط نرم افزار WaterGemsصورت پذیرد. از اینرو ۵ باب ایستگاه پمپاژ به همراه مخزن مکش آنها در این تحلیل هیدرولیکی لحاظ گردیده است. این امر مستلزم تهیه مدل هیدرولیکی بر مبنای تغییر ارتفاع آب درون مخازن و کنترل سطح آن با تغییر مدل پمپاژ و تغییر در دبی انتقالی بین هر سایت می باشد .در ادامه نحوه مدلسازی و تحلیل صورت گرفته، ارائه شده است. برای منظور فوق می توان از مدل هیدرولیکی(با استفاده از نرم افزار) Water Gems که نتایج حاصل از آن در بخش قبل ارائه گردید، استفاده نمود با این تفاوت که در مرحله طراحی ایستگاههای پمپاژ، طراحی بر مبنای مدل Steady Stateصورت گرفت اما در این حالت باید مدل بصورت Unsteady تحلیل شود .مقوله زمان در این نوع تحلیل، میزان تغییرات پارامترهای مختلف از قبیل دبی جریان در هر سایت، هد پمپاژ، خاموش یا روشن بودن هر پمپ، میزان باز یا بسته بودن شیرهای کنترل دبی، سطح آب در مخازن و در نهایت حجم مخزن مورد نیاز برای هر سایت به منظور بالانس شدن سیستم را مشخص می نماید.

به منظور اینکه با گذشت زمان بتوان سیستم را بالانس و بهینه نمود باید دستورات کنترلی مختلفی برروی عناصر مختلف مجموعه خط انتقال قرار داد، از آن جمله می توان به زمان خاموش و روشن شدن پمپهای یک ایستگاه پمپاژ در شرایط مختلف اشاره نمود که این موارد بصورت کامل در ادامه آورده شده است .

حجم مخازن تعادل به مدت زمان پیک مصرف برق و جبران خاموشی برنامه ریزی شده الکتروپمپ ها جهت بهینه سازی مصرف انرژی، زمان استراحت تلمبه ها و به مدت زمان لازم برای تعمیرات خط انتقال در صورت بروز حوادث بستگی دارد .به هرصورت تصمیم گیری در خصوص تعیین زمان مذکور بستگی به اهمیت طرح، میزان حجم سرمایه گذاری، بالا بردن قابلیت مانور و قابلیت اطمینان و ... دارد. در جدول ۳ شرایط هیدرولیکی ایستگاه های پمپاژ ارائه گردیده است(مسعود تابش، ۱۳۸۷)

جدول ۳- شرایط هیدرولیکی ایستگاههای پمپاژ مسیرخط انتقال

ایستگاه پمپاژ	دبی (لیتر/ثانیه)	ارتفاع ایستگاه پمپاژ از سطح دریا (متر)	ارتفاع پمپاژ (متر)	تعداد پمپ در حال کار(عدد)	اختلاف ارتفاع استاتیک(متر)	اختلاف ارتفاع دینامیک(متر)
ایستگاه پمپاژ شماره ۱	۷۹۵۰	۱۱	۲۷۵/۵	۸	۱۴۲	۱۳۱
ایستگاه پمپاژ شماره ۲	۷۹۵۰	۱۵۳	۲۷۵/۵	۸	۲۰۳	۷۲
ایستگاه پمپاژ شماره ۳	۷۹۵۰	۳۵۶	۲۷۵/۵	۸	۲۳۸	۳۷
ایستگاه پمپاژ شماره ۴	۷۹۵۰	۵۹۴	۲۷۵/۵	۸	۲۴۵	۳۰
ایستگاه پمپاژ شماره ۵	۷۹۵۰	۸۳۹	۲۷۵/۵	۸	۲۶۱	۱۴

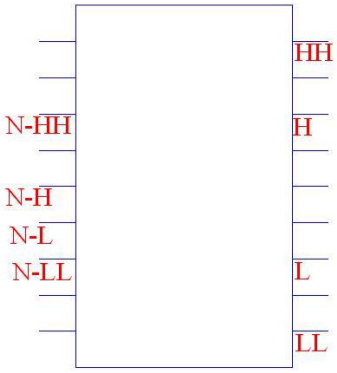
باید توجه نمود که عوامل متعددی در برابر نبودن دبی هر یک از قطعات خط انتقال با یکدیگر دخیل می باشند. اولین عامل مؤثر در این امر، چگونگی محاسبه افت فشار در خط انتقال است .استفاده از فرمول های مختلف محاسبه افت فشار تنها برآوردی از افت فشار جریان بدست می دهند و در عمل، خط انتقال جدای از تحلیل های انجام شده با توجه به جنس پوشش و نوع اجرای آن مقاومتی از خود در برابر عبور جریان نشان می دهد که به طور دقیق منطبق برمحاسبات انجام شده نمی باشد .از سویی تغییرات ضریب C در طی زمان نیز دارای اثر مشابهی می باشد و آن اینکه در هر صورت دبی خط انتقال در هر یک از قطعات دقیقاً برابر با ۷۹۵۰ لیتر در ثانیه نخواهد بود. این عدم تطبیق منجربه پر و یا خالی شدن مخازن مکش ایستگاه های پمپاژ می گردد .بدیهی است که در این شرایط برای حفظ تداوم جریان در خط انتقال نیاز به اعمال کنترل برروی نحوه عملکرد پمپ ها می باشد. دومین عامل مؤثر در برابر نبودن دبی انتقالی توسط هر ایستگاه پمپاژ شرایط بهره برداری می باشد .در صورت نیاز به انتقال دبی های کمتر از ۷۹۵۰ لیتر در ثانیه این امر با خاموش کردن یک یا چند پمپ از مجموعه پمپ های در حال کار در هر ایستگاه انجام می پذیرد. با نگاهی به جدول ۲ و ستونهای اختلاف ارتفاع استاتیک و دینامیک در هر خط انتقال مشخص میگردد که در حالت قطع عملکرد یک پمپ رفتار قطعات خط انتقال متفاوت بوده و این امر به معنی پمپاژ دبی هایی متفاوت توسط ایستگاه های پمپاژ می باشد . این موضوع لزوم اعمال سیستم کنترل مناسب جهت جلوگیری از سرریز و یا خالی شدن مخازن را نشان می دهد.

۵- چگونگی تحلیل سیستم کنترل

هسته اصلی سیستم کنترل وابسته به تغییرات سطح آب در مخازن می باشد .این تغییرات توسط سیستم کنترل به وسیله سنسورها درک شده و سپس در بخش نرم افزاری مورد تحلیل قرار گرفته و دستورات مقتضی توسط سخت افزارهای مرتبط به پمپها صادر می شود .تغییر سطح آب در مخازن متأثر از دبی ورودی و خروجی به مخزن می باشد. این دبی تحت تأثیر عواملی همچون تغییر سطح آب در مخازن مکش و همچنین خاموش و یا روشن شدن پمپ در ایستگاه های پمپاژ مجاور تغییر می یابد. اگر هر ایستگاه پمپاژ متشکل از مخزن مکش، مجموعه پمپ ها، خط انتقال و مخزن دهش در نظر گرفته شود، تغییرات سطح آب از دو مخزن مکش و دهش به سیستم کنترل فرستاده می شوند. حال در مجموعه ایستگاه های پمپاژ متوالی که مخزن دهش یک ایستگاه همزمان مخزن مکش ایستگاه پمپاژ بعدی می باشد، کل مجموعه به صورت یک زنجیره به هم پیوسته عمل نموده که تحلیل همزمان تمامی ایستگاه ها با هم را ضروری می سازد.

۶- چگونگی تحلیل سیستم کنترل

به منظور آشنایی با چگونگی کنترل و فرامین مرتبط با آن، یک ایستگاه پمپاژ به همراه مخازن مکش و دهش درنظر گرفته می شود. نوسانات سطح آب در این دو مخزن می تواند به عنوان منشأ صدور دستورات سیستم کنترل مورد استفاده قرار گیرند. ابتدا مخزن مکش در نظر گرفته میشود .با کم شدن سطح آب در مخزن مکش فرمان خاموش شدن یک پمپ از مجموعه پمپ های در حال کار صادر میگردد .اگر با خاموش شدن یک پمپ ارتفاع سطح آب باز هم کاهش یابد، فرمان خاموش شدن پمپ دوم نیز صادر خواهد شد .این عمل بستگی به تعداد پمپ های ایستگاه پمپاژ و شرایط کار مجموعه آنها با هم دارد .به هر روی پائین تر آمدن سطح آب از حداقل مجاز در مخزن مکش منجر به صدور فرمان خاموش شدن تمامی پمپهای ایستگاه می گردد. بنابراین اعلام فرمان Low از مخزن مکش به سیستم کنترل ایستگاه پمپاژ ضروری است .همچنین فرمان قطع عملکرد مجموعه پمپها نیز به منظور جلوگیری از خالی شدن مخزن الزامی می باشد .از سوی دیگر بالارفتن آب در مخزن مکش از سوی سیستم کنترل می تواند به منزله پر شدن مخزن برداشت گردد .بنابراین فرمان روشن شدن پمپ های خاموش شده را به سیستم اعلام می کند .از این فرمان می توان به فرمان Normal یاد نمود. در مورد مخزن دهش، افزایش سطح آب موجب ارسال فرمان High به سیستم کنترل و خاموش سازی یک پمپ می شود .با کاهش سطح آب فرمان Normal جهت شروع به کار پمپ خاموش شده صادر خواهد شد .در صورت عدم کاهش سطح می توان فرمان خاموش شدن پمپ دوم را نیز صادر نمود. همچنین در صورت سرریز شدن مخزن دهش فرمان قطع عملکرد تمامی پمپ ها به ایستگاه پمپاژ ارسال می گردد. در شکل ۲ سطوح کنترلی مخازن آب بصورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۲- سطوح کنترلی مخازن آب بصورت شماتیک

حجم مخزن مکش پمپاژ شامل ۴ بخش خواهد بود:

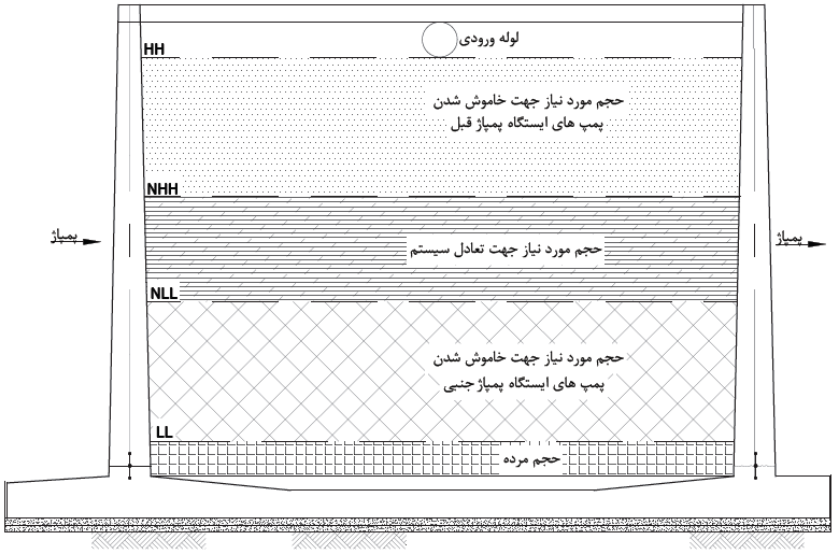
الف -حجم مرده :میبایست همیشه حداقل سطح تراز آب در مخزن مکش جهت رعایت NPSH و عدم ورود هوا ۰/۵ متر باشد که حجم معادل آن حجم مرده مخزن نامیده میشود.

ب -حجم ناشی از شرایط اضطراری در بالادست :در صورتی که در بالادست مخزن مکش ایستگاه پمپاژ، اتفاقی ناشی از ترکیدگی لوله یا قطع برق ایستگاه پمپاژ قبلی رخ دهد، ورودی آب به مخزن مکش ایستگاه پمپاژ حاضر صفر خواهد شد. در صورت روشن بودن پمپهای ایستگاه پمپاژ، مخزن مکش به سرعت خالی شده و به ترازLL خواهد رسید که تمامی پمپها همزمان خاموش شوند. این خاموشی همزمان تمامی پمپها باعث ایجاد ضربه قوچ در خط انتقال این قطعه و در ادامه در سایر قطعات سامانه انتقال خواهد شد. همچنین خاموشی همزمان کل سیستم پمپاژ باعث ایجاد شوک در شبکه برق نیز خواهد بود. جهت جلوگیری از بروز چنین اتفاقی، پیشنهاد میگردد پمپها تک تک در ترازهای مختلف

تا تراز LL مخزن مکش به ترتیب خاموش گردند.

ج -حجم ناشی از تعادل سیستم: مطابق توضیحات بند فوق، این حجم ناشی از نوسانات دبی خروجی در هر قطعه سیستم پمپاژ یا ثقلی خواهد بود.

د -حجم ناشی از شرایط اضطراری در پایین دست: در صورتی که در خط لوله پایین دست ایستگاه پمپاژ ترکیدگی یا اتفاقی رخ دهد یا برق ایستگاه پمپاژ حاضر قطع شود، دبی خروجی از مخزن مکش ایستگاه پمپاژ صفر خواهد بود .در صورت روشن بودن پمپهای ایستگاه پمپاژ قبلی، به سرعت سطح آب درون مخزن مکش افزایش یافته و در تراز HH سرریز می نماید و کلیه پمپهای ایستگاه پمپاژ قبلی خاموش خواهد شد. مشابه توضیحات ارائه شده در بخش"ب"جهت جلوگیری از شوک و ضربه قوچ به کل سیستم، میبایست پمپهای ایستگاه پمپاژ قبلی نیز به مرور و تا تراز HH مخزن مکش به ترتیب خاموش گردند، (سیاوش کلاهدوزیان، ۱۴۰۱).



شکل ۳- بخشهای مختلف حجم مخازن مکش پمپاژ

باتوجه به شرایط ذکر شده، فرامین کنترلی در یک ایستگاه پمپاژ مبتنی بر فرمان Low از مخزن مکش، فرمان High از مخزن دهش و فرامین Normal از این دو مخزن می باشد. حال در مجموعه طرح حاضر با توجه به پیوستگی ایستگاه های پمپاژ، فرامینی که از هر مخزن به سیستم کنترلی ارسال می گردند عبارتند از:

فرمان Low به ایستگاه پمپاژ مجاور مخزن و فرمان Normal مربوط به آن.

فرمان High به ایستگاه پمپاژ بالا دست و فرمان Normal مربوط به آن.

فرمان قطع عملکرد به علت خالی شدن به تمامی پمپ های ایستگاه مجاور و فرمان Normal مربوط به آن.

فرمان قطع عملکرد به علت سرریز شدن به تمامی پمپ های ایستگاه بالا دست و فرمان Normal مربوط به آن.

جزئیات سطوح کنترلی و نحوه صادر کردن فرامین کنترلی در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۷- مدلسازی هیدرولیکی سیستم کنترل

اولین قدم در ساخت یک مدل، طرح ریزی ساختار اصلی پروژه و معرفی شرایط فیزیکی آن می باشد. به این منظور اجزای اصلی سیستم شامل قطعات خط انتقال، پمپها و مخازن دربرنامه تعریف شده است .مدل تهیه شده حد فاصل

ایستگاه شماره ۱ تا ایستگاه شماره ۵ می باشد. در جدول ۴ المان های مورد استفاده در مدلسازی سیستم کنترل بیان شده است.

جدول ۴- المان های مورد استفاده در مدلسازی سیستم کنترل

شماره المان	توضیحات
T-1	مخزن مکش ایستگاه اول
T-2	مخزن دهش ایستگاه اول –مخزن مکش ایستگاه دوم
T-3	مخزن دهش ایستگاه دوم مخزن مکش ایستگاه سوم
T-4	مخزن دهش ایستگاه سوم – مخزن مکش ایستگاه چهارم
T-5	مخزن دهش ایستگاه چهارم – مخزن مکش ایستگاه پنجم

لازم به ذکر می باشد که در هر کدام از این شرایط فیزیکی واقعی سیستم معرفی شده است. به عنوان مثال مخازن دارای رقوم کف، حداقل و حداکثر مجاز سطح آب و سطح مقطع می باشند. با چنین مشخصاتی مدل قادر خواهد بود که چگونگی نوسانات سطح آب در مخازن را محاسبه کند. همچنین پمپها دارای منحنی مشخصه کاری میباشند تا تأثیر تغییرات ارتفاع آب در مخازن مکش برروی نقطه کار آنها تحلیل گردد. پس از ساخت فیزیکی مدل، نوبت به انجام تحلیل هیدرولیکی سیستم می رسد. به این منظور ابتدا باتوجه به دیدگاه بهره برداری منفرد، هر کدام از ایستگاههای پمپاژ و قطعات خط انتقال مربوطه توسط نرم افزار مورد تحلیل قرار گرفته اند. به عبارتی در تحلیل اولیه از بعد زمان و تأثیر متقابل هر ایستگاه با سایر ایستگاههای پمپاژ صرفنظر شده است. بدیهی است که در چنین تحلیلی معرفی سیستم کنترل جایگاهی نداشته و طرح از مجموعه ایستگاههای پمپاژ که از نظر هیدرولیکی ناپیوسته می باشند، تشکیل شده است. شایان ذکر است مخازن اولیه دارای سطح مقطع حدود ۷۲۰۰ مترمربع و ارتفاع مفید تقریبی۶ متر می باشند. سطح آب در هر مخزن در شرایط پر برابر ۶ متر و در شرایط خالی برابر ۰/۵ متر می باشد.

۸– مدلسازی کنترلی سیستم کنترل

به منظور تعریف دستورات کنترلی ابتدا باید بعد زمان را در مدل تعریف نمود .به این منظور تحلیل در طی دوره زمانی ۱۰ تا ۲۰ روزه انجام گرفته است تا از پایدار بودن شرایط کار سیستم اطمینان حاصل شود .این تحلیل میتواند شامل بررسی تغییرات دقیقه ای متغیرهای طرح و یا تغییرات ساعتی آنها باشد. در نرم افزار مورد استفاده، به منظور اعمال دستورات کنترلی به مجموعه ایستگاههای پمپاژ از نوعی روش برنامه نویسی بر پایه روابط منطقی استفاده شده است که در آن بر مبنای تغییرات سطح آب مخازن، دستورات لازم به پمپهای مرتبط اعمال می شود .به عنوان مثال درصورتی که سطح آب در مخزن T-3 (مخزن مکش ایستگاه پمپاژ شماره سه)از ۴/۵ متر بیشتر شود باید پمپP-22 از مجموعه پمپ های ایستگاه پمپاژ دوم خاموش گردد .چنین دستوراتی بر پایه If A Then B استوار هستند.

A شرطی مبتنی بر سطح آب مخزن است که درصورت برآورد شدن منجر به اعمال دستور B که روشن یا خاموش شدن پمپ می باشد، می گردد. با توجه به این امر تعریف سطوح کنترلی در مخازن ضرورت می یابد.

سطوح کنترلی به منظور شناسایی ارتفاع آب در یک مخزن و ارسال آن به سیستم کنترل جهت اعمال دستور مناسب به کار می روند. روش معمول جهت انتخاب تعداد سطوح کنترلی، بر پایه سطوح بالای بالا(High-High)، بالا(High)، نرمال(Normal)، پایین (Low) و پایین پایین (Low Low) می باشد. لازم به ذکر است که سطح Over Flowبه منظور جلوگیری از سرریز مخزن در نظر گرفته شده و در صورت رسیدن آب به این سطح(تراز ۶ متر)، فرمان قطع عملکرد کلیه پمپها به ایستگاه پمپاژ بالادست مخزن صادر خواهد شد. البته در نظر گرفتن چنین سطحی

به منظور اطمینان از عملکرد ایمن ایستگاه ها می باشد و برنامه ریزی سیستم کنترل باید به نحوی انجام گردد که از بروز چنین شرایطی جلوگیری شود. همچنین درصورت پایین تر آمدن تراز سطح آب مخزن از ۰/۵متر، فرمان قطع عملکرد کلیه پمپها به ایستگاه پمپاژ مجاور مخزن صادر خواهد شد که مشابه حالت قبل تنها به منظور جلوگیری از خالی شدن مخزن و کارکرد بدون آب پمپ ها می باشد و در عمل با معرفی سیستم کنترل مناسب و اجرای صحیح آن چنین شرایطی اتفاق نخواهد افتاد.

مناسب بودن تعداد و فاصله سطوح کنترلی از هم از موارد مهم سیستم کنترل ایستگاه های پمپاژ می باشد .تعداد سطوح بستگی به تعداد فرامین لازم جهت کنترل پمپ ها دارد و فاصله سطوح کنترلی از هم تابعی از دقت اندازه-گیری وسایل سنجش ارتفاع سطح و اینرسی هیدرولیکی تأسیسات ایستگاه می باشد. دو عامل که باعث می شود این اختلاف ارتفاع زیادتر شود عبارتند از:

الف) عدم دقت دستگاه اندازه گیری سطح: اگر این دستگاه سطح آب را با خطای مطلق T سانتیمتر نشان دهد، اختلاف بین دو سطح متوالی باید حداقل 3T باشد تا دستور کنترلی به شکل مناسب صادر گردد. علاوه بر دقت اندازه-گیری دستگاه، وجود تلاطم آب در مخزن برروی تعیین صحیح سطح آب تأثیرگذار می باشد.

ب) اینرسی هیدرولیکی تأسیسات: اگر فرض شود آب با دبی q از مخزن مکش ایستگاه پمپاژی منتقل می گردد و دبی Q ورودی به این مخزن کمتر از q است، در نتیجه سطح آب مخزن مکش کاهش پیدا می کند. پس از رسیدن سطح آب به سطح کنترلی L فرمان خاموش شدن یک پمپ به ایستگاه صادر می شود تا دبی پمپاژ به q کمتر ازQ تغییر کند ولی قبل از اینکه دبی پمپاژ به q تقلیل یابد، مقدار معینی آب از مخزن خارج می گردد. حجم این مقدار آب به زمان خاموش شدن پمپ بستگی دارد. اگر این حجم بیشتر از حجم بین دو سطح متوالی L و LL باشد، سطح آب به LL رسیده و فرمان خاموش شدن مجموعه پمپ ها صادر می شود. عکس این امر در هنگام روشن شدن پمپ ها نیز صادق است. اگر حجم آب بین دو سطح کنترلی کمتر از حجم آبی باشد که در طی زمان روشن شدن یک پمپ به مخزن وارد می شود در این صورت پمپ دوم نابهنگام شروع به کار می کند. علاوه بر این بحث، تعدد سطوح کنترلی و یا فاصله کم آنها از هم فرکانس نوسانات سیستم را افزایش می دهد که به معنی خاموش و روشن شدن های متوالی پمپ ها می باشد. باتوجه به قدرت الکتروموتورهای این پژوهش، تعداد دفعات مجاز استارت از سوی سازندگان ۲ تا ۳ بار در ساعت بسته به شرایط کارکرد سرد یا گرم الکتروموتور اعلام شده است.

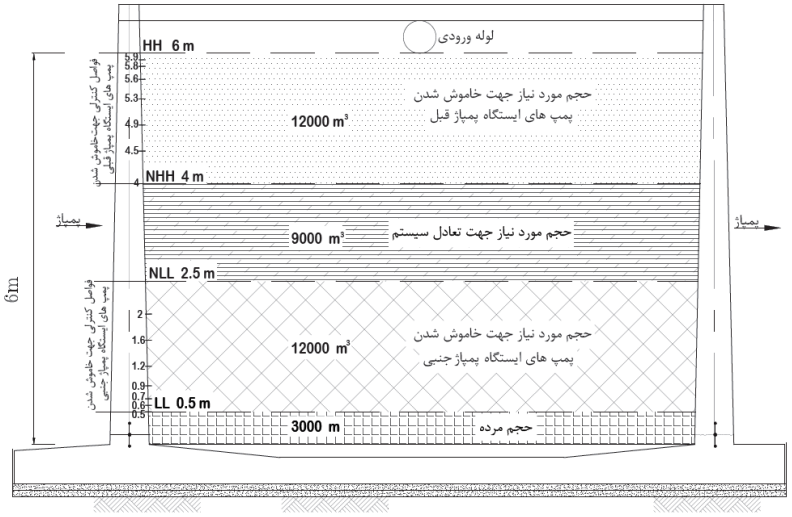
با توجه به توضیحات ارائه شده در بالا، به اختصار چند نمونه از دستورات کنترلی نوشته شده برای سیستم پمپاژ درادامه آورده شده است.

Logical Control: LC884
IF T-2 Level < 2 m
THEN "PMP-22" Pump Status = Off
Logical Control: LC838
IF T-4 Level > 4.5 m
THEN "PMP-32" Pump Status = Off

بدیهی است تعداد این دستورات با توجه به تعداد کنترل کننده های مجموعه متغیر می باشد و در اینجا صرفا به تعدادی از آنها به اختصار اشاره شده است.

۹- نتایج مدلسازی

بر اساس نتایج تحلیل های صورت گرفته این امکان وجود دارد که حجم مخازن از فرض اولیه ۴۵ هزار متر مکعب به ۳۶ هزار متر مکعب بهینه گردد،(مسعود تابش، ۱۳۹۲). در شکل ۴ شماتیکی از مخزن مکش ایستگاه های پمپاژ به همراه فواصل کنترلی مناسب جهت خاموش شدن پمپ ها و حجم مورد نیاز جهت تعادل سیستم ارائه شده است.



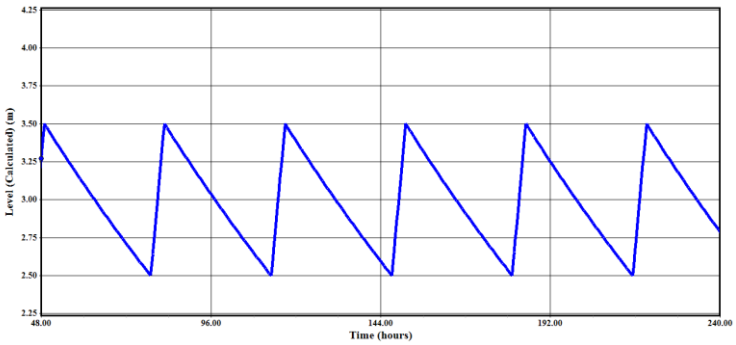
شکل ۴- شماتیک مخزن مکش ایستگاه های پمپاژ

مطابق شکل ۴، حجم مورد نیاز بخش بالای مخزن(قسمت بالای تراز نرمال) که فرمان های کنترلی را از پمپ های ایستگاه پمپاژ قبل دریافت می کند برابر ۱۲ هزار متر مکعب، بخش میانی مخزن(تراز نرمال) که مربوط به تعادل سیستم می باشد، معادل ۹ هزار متر مکعب و بخش پایین مخزن (قسمت پایین تراز نرمال) که فرمان های کنترلی را از ایستگاه پمپاژ جنبی دریافت می کند نیز معادل ۱۲ هزار متر مکعب برآورد شده است .مجموع حجم های مذکور به انضمام حجم مرده که مربوط به تراز ۰/۵ متر (۳۰۰۰ متر / متر مکعب) می باشد، ۳۶۰۰۰ متر مکعب خواهد بود.

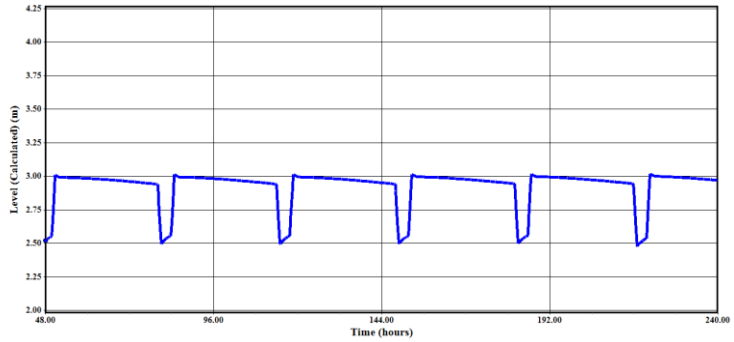
با شبیه سازی مشخص شد که می توان حجم برخی مخازن مکش را از مقدار اولیه کمتر در نظر گرفت و در عین حال میزان خاموش و روشن شدن پمپ ها برای دبی های مختلف را در بازه مجاز حفظ نمود .علی الیحال حجم کلیه مخازن مکش ایستگاه های پمپاژ ۴۰ هزار متر مکعب در نظر گرفته شده است تا تعداد روشن و خاموش شدن پمپ ها به حداقل رسیده و از استهلاک الکتروپمپ ها کاسته شود.

در این حالت تمامی پمپ ها در ایستگاههای پمپاژ روشن می باشند و دبی در محدوده ۷۹۵۰ لیتر در ثانیه را پمپاژ می کنند .در نهایت، فرمانهای ذکر شده در داخل مدل نرم افزاری اعمال شده و به صورت همزمان در کنار تحلیل هیدرولیکی عمل می کند. به این صورت که در هر قدم زمانی، سطح آب در مخازن مورد بررسی قرار گرفته و در صورت لزوم دستور کنترلی صادر می گردد. در قدم زمانی بعدی شرایط هیدرولیکی تحلیل شده و نتایج جدید در سیستم اعمال می شود. تحلیل هیدرولیکی و سپس اعمال دستورات کنترلی به صورت گام های زمانی در طی دوره، مورد بررسی قرار می گیرد. به منظور اطمینان از عملکرد پایدار کل ایستگاه های پمپاژ، مدت زمان ۱۰ روز، بهره برداری مورد تحلیل قرار گرفته است. بنابراین، نتایج جهت ارائه گویا و مناسب به صورت منحنی در بازه زمانی ۲۴۰ ساعته ارائه خواهند شد. بسته به سطح اولیه مخازن چند ساعت طول می کشد تا شرایط خط به حالت پایدار برسد به همین منظور نتایج در نمودارها از ساعت ۴۸ به بعد ارائه شده است.

در شکل های ۵ و ۶ نوسانات سطح آب در مخازن مکش ایستگاه های پمپاژ شماره ۱ و ۴ بعنوان نمونه نشان داده شده است.

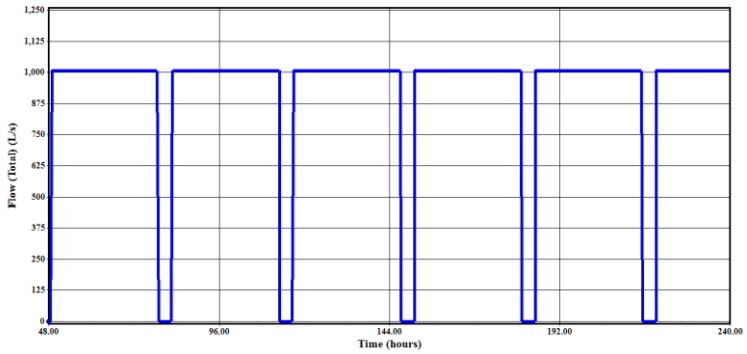


شکل ۵- نوسانات سطح آب در مخزن مکش ایستگاه پمپاژ شماره ۱

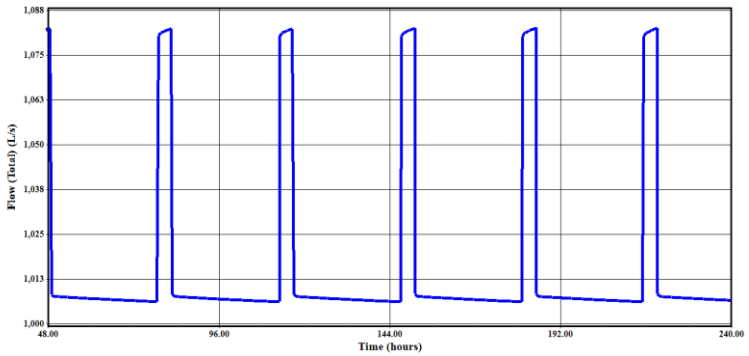


شکل ۶- نوسانات سطح آب در مخزن مکش ایستگاه پمپاژ شماره ۴

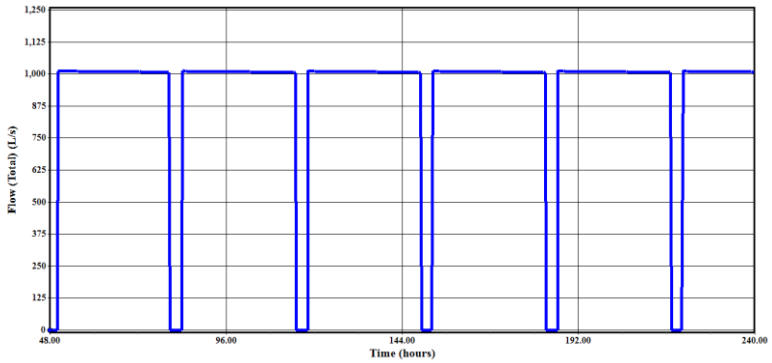
در شکل های ۷، ۸، ۹و ۱۰ به ترتیب نحوه کارکرد پمپ های اول و دوم ایستگاه های پمپاژ ۱و ۳ نشان داده شده است. به جز پمپ اول، نحوه عملکرد مابقی پمپ های هر ایستگاه مشابه یکدیگر(همانند پمپ شماره ۲) می باشند که در اینجا از تکرار آنها خودداری گردیده است. شایان ذکر است در نامگذاری پمپ ها عدد سمت راست بیانگر شماره ایستگاه و عدد سمت چپ بیانگر شماره پمپ در ایستگاه مورد نظر می باشد.



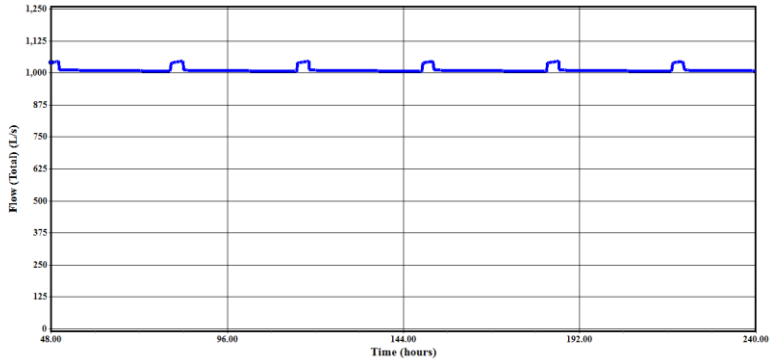
شکل ۷- منحنی کارکرد پمپ ۱۱ ایستگاه پمپاژ شماره ۱



شکل ۸- منحنی کارکرد پمپ ۱۳ ایستگاه پمپاژ شماره ۱



شکل ۹- منحنی کارکرد پمپ ۳۱ ایستگاه پمپاژ شماره ۳



شکل ۱۰- منحنی کارکرد پمپ ۳۲ ایستگاه پمپاژ شماره ۳

۱۰- جمع بندی

در ابتدا تحلیل هیدرولیکی مسیر خط انتقال بصورت Steady توسط نرم افزار Water Gems صورت گرفته و سپس جهت بهینه سازی حجم مخازن مکش ایستگاه های پمپاژ با استفاده از قابلیت تحلیل بصورت غیر یکنواخت (EPS) برای مجموعه ایستگاه های شماره ۱ تا ۵ انجام شده است. بررسی نتایج تحلیل های انجام گرفته و همچنین استفاده از سیستم کنترلی ارائه شده در پژوهش نشان می دهد:

۱- پمپ های ۲ تا ۸ در هر ایستگاه همواره در حال کار می باشند و پمپ ۱ نقش کنترلی را ایفا می کند. لازم به

ذکر است که با درنظر گرفتن دو پمپ رزرو، مدت زمان خاموشی پمپ ها عملا سه برابر می شود.

۲- تعداد روشن و خاموش شدن پمپ ها و الکتروموتورها در بازه مجاز قرار دارند.

۳- حجم مخزن مکش محاسبه شده به ظرفیت ۳۶ هزار متر مکعب با میزان پیشنهادی در نشریه ۳-۱۱۷ تطابق قابل قبولی دارد(حدود ۱/۵ ساعت حجم ذخیره).

۴- از سر ریز شدن مخازن مکش جلوگیری خواهد شد.

۵- میتوان از خاموش شدن ایستگاه های پمپاژ به جهت عدم تامین NPSH پمپ ها و در نتیجه صدمات ناشی از آن جلوگیری نمود.

۶- تغییرات دبی انتقالی در ایستگاه های مختلف قابل کنترل و یکسان سازی می باشد.

۱۱- مراجع

کلاهدوزیان،س. (۱۴۰۱)"گزارش محاسبه حجم مخازن مکش مسیر خط انتقال، طرح ملی انتقال آب از دریای عمان به استان های شرقی کشور" ، مطالعات مرحله اول"، شماره گزارش: 412288-TS-A-00-00-ME-RE-015 ، شرکت مهندسی مشاور طوس آب.

تابش،م. (۱۳۹۲)، ضوابط طراحی سامانه های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی، سازمان برنامه و بودجه و وزارت نیرو، بازنگری اول نشریه شماره ۳-۱۱۷، تهران، ایران.

نظر بخش،ب.(۱۳۸۷)، راهنمای طراحی تلمبه خانه های آب ، معاونت امور آب و آبفا- وزارت نیرو، نشریه شماره ۳۰۰-الف، تهران، ایران.

Calculation of the volume of suction tanks of pump stations in the transmission line

Siavash Kolahdoozian[1*], Benyamin Javdani Yekta[2], Mansoureh Atashi[3] Marzieh Irandoost[4]

1- Researcher of Eram Environmental Resource Management Research Center - Project Manager of Toossab Consulting Engineering Company, Master of Mechanics, Azad University of Mashhad (siavash.kolahdoozian28@gmail.com)
2- Project Manager of Toossab Consulting Engineering Company, Master of Civil Engineering at Ferdowsi University of Mashhad(ben.javdani@gmail.com)
3- Head of Eram Environmental Resource Management Research Center, Ph.D. in Hydraulic Structures, Ferdowsi University of Mashhad, at.mansoureh@gmail.com
4- Bachelor of Mechanics, Ferdowsi University of Mashhad
(marzieh.irandoost@gmail.com)

Abstract

In these studies, the volume of the suction tanks of the pumping stations of the transmission line has been calculated using the water height control system in the tanks. Water is pumped by 5 pumping stations in a steel transmission line with a diameter of 2200 mm with a flow rate of 7950 liters per second (230 million cubic meters per year), with a length of 182 km. The hydraulic modeling of the transmission line was done by V8i Water Gems software in a non-uniform way (EPS). The volume of the suction tanks depends on the duration of the peak electricity consumption and the programmed blackout compensation of the electric pumps in order to optimize the energy consumption, the rest time of the pumps. The flow rate of the transmission line differs between two different stations due to factors such as pressure drop difference, coating material and its implementation type, which will lead to the filling or emptying of the reservoirs. In such a situation, depending on the need, it should be sent to the required pumping stations through the command control system to turn off or on the pump so that the water level in the balancing tank returns to normal conditions when the flow rate of the transmission line increases or decreases. The main core of the control system depends on the changes of the water level in the tanks. The results show that the optimal volume of the suction tanks of the pumping stations is 40 thousand cubic meters, which is in good agreement with the volume suggested in the publication 117-3. to give

Keywords: Suction tank, pump station, control system, electropump