

بررسی پدیده ضربه قوچ در طرح تأمین آب اراضی خشکه رود الیگودرز

عیسی معروف پور^۱، سید علی شاهرکنی^۲، مجید بهزاد^۳

۱- استادیار دانشگاه کردستان- سنندج، دانشگاه کردستان، دانشکده کشاورزی

۲- کارشناس ارشد شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران

۳- دانشیار دانشگاه شهید چمران اهواز - اهواز، دانشگاه شهید چمران

isamarofpoor@yhoo.com

خلاصه

در خصوص اهمیت پدیده ضربه قوچ و میزان مخرب بودن آن در منابع مختلف مطالب فراوانی قید شده است. از طرف دیگر محاسبات پیچیده آن و حل معادلات مربوطه، خصوصاً برای طرح‌های پیچیده استفاده از نرم‌افزارهای قوی و کامل را در این زمینه ناگزیر کرده است. طرح تأمین آب الیگودرز با دبی ۱۱۱۱ لیتر بر ثانیه و ارتفاع پمپاژ ۲۱۵ متر با قطرهای مختلف لوله‌های انتقال از ۱۰ اینچ تا ۴۰ اینچ و سایر مسایل مهم دیگر که به پیچیده بودن طرح افزوده است، یکی از طرح‌های مهم و حساس از لحاظ تأمین آب و پدیده ضربه قوچ می‌باشد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که ترکیب سه وسیله حفاظتی، مخزن هوای فشرده در محل تلمبه‌خانه، مخزن با شیر یک طرفه در محل اولین نقطه مرتفع و شیرهای هوا در فواصل معین و نقاط مرتفع، کلیه نیازهای شبکه را در حالت قطع پمپاژ فراهم خواهد نمود. استفاده از شیرهای هوا در نزدیک اولین نقطه مرتفع باعث بروز نوسانات شدید فشار ناشی از مکش هوا شد. در عین حال وجود چنین شیرهایی برای کارکرد مکش هوا در حالت تخلیه عمودی خط یا شکستگی آن و نیز تخلیه آسان ضروری است. این مهم صرفاً با نصب یک مخزن یک طرفه در مجاورت اولین نقطه مرتفع ممکن شد. این مطالعه همچنین نشان داد که نقش شیرهای هوا در ترکیب با سایر وسایل حفاظتی هنگام بروز پدیده ضربه قوچ مهم بوده و بایستی مورد بررسی قرار گیرد که ممکن است باعث بروز نوسانات شدید فشار در خطوط لوله گردد.

کلمات کلیدی: ضربه قوچ، تأمین آب، مخزن هوای فشرده، شیر هوا، الیگودرز

مقدمه

در اثر تغییر ناگهانی سرعت آب در خطوط لوله موج‌هایی تشکیل می‌شود که در طول مسیر خط لوله حرکت رفت و برگشتی انجام می‌دهند. این موج‌ها در مسیر رفت و برگشت خود به لوله‌ها و تأسیسات موجود در مسیر ضربات شدیدی وارد می‌کنند، از این جهت به این موج‌ها ضربه آبی یا ضربه قوچ می‌گویند. از جمله عواملی که باعث تغییر ناگهانی سرعت حرکت جریان آب در خطوط لوله می‌شوند عبارتند از: ۱- باز یا بسته شدن سریع شیرآلات یا خرابی آنها ۲- خاموش یا روشن شدن ناگهانی پمپ در سرعت دورانی پمپ ۳- تخلیه ناگهانی و غیر منتظره هوای محبوس شده در لوله‌ها. هر یک از این عوامل بسته به اینکه در چه محلی از خط لوله واقع شوند و یا اینکه سرعت را به طور ناگهانی افزایش یا کاهش دهند باعث به وجود آمدن حالت‌های مختلفی از ضربه قوچ می‌شوند [۱].

موج‌های فشاری ضربه قوچ در مسیر رفت و برگشت خود ممکن است خسارت‌های جدی به خط لوله و تأسیسات مربوط به آن وارد کنند. بنابراین برای اتخاذ تدابیر لازم به منظور جلوگیری از این خسارت‌ها، قدم اول محاسبه مقدار نیروی ضربه قوچ و سرعت آن می‌باشد. برای محاسبه فشار ناشی از ضربه آبی از رابطه زیر که توسط ژوکوفسکی ارائه شده، استفاده می‌شود [۲].

$$\Delta H = \frac{a \cdot \Delta V}{g} \quad (1)$$

$$\Delta H = \text{فشار اولیه موج (m)}, a = \text{سرعت موج (m/s)}, g = \text{شتاب ثقل (m/s}^2\text{)}, \Delta V = \text{تغییر در سرعت جریان (m/s)}$$

رابطه فوق بر اساس فرضیه‌های زیر به دست آمده است.

- تلفات اصطکاکی در لوله نسبت به فشار استاتیکی لوله ناچیز است.

- همراه سیال گاز موجود نبوده و سیال به صورت یک فاز می‌باشد.

- تغییر سرعت سیال در زمان بحرانی صورت می‌گیرد.

افزایش فشار ناشی از ضربه قوچ بستگی به سرعت موج و مقدار تغییر سرعت دارد. از آنجا که سرعت موج تابع جنس لوله و خصوصیات سیال می‌باشد و این دو عامل برای یک خط لوله ثابت است، لذا عامل اساسی در تعیین مقدار فشار ضربه قوچ، شدت تغییر سرعت می‌باشد. به طوری که هر چه شدت تغییر بیشتر باشد فشار ناشی از ضربه قوچ نیز بیشتر خواهد بود. برای تعیین سرعت موج از رابطه زیر می‌توان استفاده کرد [۳ و ۱]:

$$a = \left(\frac{\rho}{K} + \left(\frac{\rho}{E} \right) \left(\frac{DC_1}{e} \right) \right)^{-0.5} \quad (2)$$

K = مدول الاستیسیته ظاهری آب (Pa)، ρ = جرم مخصوص آب (kg/m^3), D = قطر داخلی لوله (mm), e = ضخامت دیواره لوله (mm), E = مدول الاستیسیته جنس لوله (Pa), C_1 = ضربه مهار لوله.
برای محاسبه حداکثر فشار ناشی از ضربه قوچ قبل از هر چیز باید زمان رفت و برگشت موج را محاسبه نمود. زمان رفت و برگشت موج بر اساس رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$t = \frac{2L}{a} \quad (3)$$

t = زمان رفت و برگشت موج (s), L = طول لوله از محل تغییر ناگهانی سرعت تا محل اولین مانع (m).

در صورتی که زمان تغییر سرعت (tc) کوچکتر از زمان رفت و برگشت موج باشد ($t_c \leq t$) حداکثر فشار ایجاد شده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\Delta H(\max) = \Delta H \quad (4)$$

در صورتی که (tc) بزرگتر از زمان رفت و برگشت موج باشد ($t_c > t$) حداکثر فشار ناگهانی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\Delta H(\max) = \Delta H \frac{t}{t_c} \quad (5)$$

بعد از محاسبه حداکثر فشار ناشی از ضربه قوچ، در انتخاب و طراحی خط لوله بایستی این فشار را مد نظر قرار داده و برای مقابله با آن اقدامات لازم و تمهیدات مناسب به کار گرفته شود. اگر چه نمی‌توان ضربه قوچ را به طور کامل حذف کرد و لیکن قسمت عمده فشار آن قابل کاهش می‌باشد. با توجه به این موضوع و برای کاهش هزینه‌ها و جلوگیری از خسارت‌های احتمالی ناشی از ضربه قوچ باید یک روش مناسب برای مقابله با آن انتخاب شود.

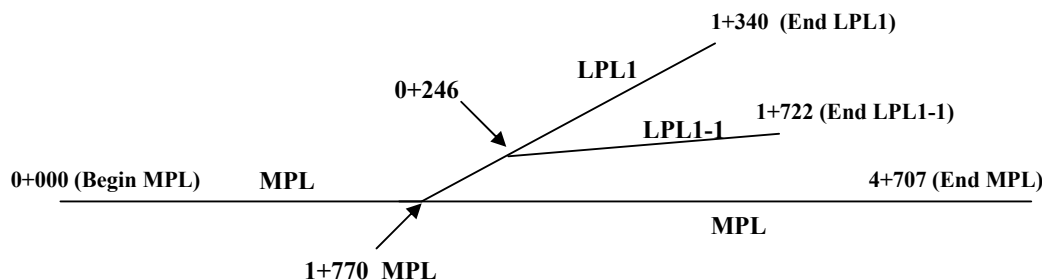
مواد و روش‌ها

اراضی خشکه‌رود الیگودرز در فاصله ۶۵ کیلومتری شهرستان الیگودرز از توابع استان لرستان واقع گردیده که از سمت شمال به رودخانه دره‌دایی، از سمت جنوب به رودخانه ارجنک، از سمت غرب به خشکه‌رود و از سمت شرق به کوه هیزآب محدود می‌گردد. موقعیت جغرافیایی طرح بین عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۱۰ دقیقه و طول‌های جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۵ دقیقه واقع گردیده است. ارتفاع اراضی از سطح دریا به طور متوسط بین ۲۵۰۰ تا ۲۳۰۰ متر متغیر می‌باشد. وسعت ناخالص اراضی ۹۵۰ هکتار و وسعت خالص حدود ۷۵۵ هکتار می‌باشد. منبع تأمین آب اراضی رودخانه خشکه‌رود می‌باشد. شبکه آبیاری اراضی به دو بخش آبیاری بارانی با مساحت خالص ۶۵۵ هکتار و آبیاری قطره‌ای با مساحت خالص ۱۰۰ هکتار تقسیم شده است. بخش سیستم آبیاری بارانی شامل ۸ واحد زراعی با نام‌های U1 تا U8 می‌باشد. این واحدهای زراعی آب مورد نیاز خود را از خط لوله اصلی MPL و یا انشعابات آن LPL1 و LPL1-1 می‌گیرند (شکل ۱). خط لوله MPL از ایستگاه پمپاژ که در کنار رودخانه احداث می‌شود شروع شده و طول نهایی آن ۴۷۰۷ متر خواهد بود. از این خط لوله در کیلومتر ۱+۷۷۰ خط لوله LPL1 منشعب می‌شود. طول لوله MPL از ایستگاه پمپاژ تا شروع اراضی (بالای کوه) و یا به عبارتی نقطه عطف لوله ۶۵۶ متر می‌باشد. تأمین و انتقال آب و فشار مورد نیاز تمامی واحدهای زراعی به وسیله ایستگاه پمپاژی که در کنار رودخانه احداث می‌شود، تأمین می‌گردد. در جدول ۱ مشخصات پمپ‌ها و الکتروموتورهای ایستگاه پمپاژ ارائه گردیده است. همچنین در جدول ۲ نقطه کار سیستم موقع روشن بودن یک پمپ و ۱۰ پمپ موازی آورده شده است. در جدول ۳ ارزیابی مسیر خطوط اصلی انتقال شبکه از لحاظ هیدرولیکی همراه با رقوم خط پروژه و رقوم گردادیان هیدرولیکی ارائه گردیده است [۴].

نتایج و بحث

در ذیل نتایج بررسی اثر ضربه قوچ در شبکه آبیاری تحت فشار خشکه رود الیگودرز و راه حل‌های پیشنهادی جهت کاهش اثرات مخرب این پدیده و نیز نکات مهم در خصوص به کارگیری سیستم‌های حفاظتی متفاوت بیان می‌شود [۴].

۱- داده‌های مورد نیاز جهت مدل‌سازی شبکه بر اساس نقشه‌ها و اطلاعات ذیل کسب شده است.



شکل ۱ - نحوه آرایش خطوط انتقال شبکه آبیاری اراضی خشک‌رود الیگودرز

جدول ۱- مشخصات پمپ‌ها و الکتروموتورهای ایستگاه پمپاژ

مدل پمپ	WKL150/6
تعداد پمپ	۱۲ دستگاه (۲ دستگاه به صورت رزرو می‌باشد)
تراش پروانه	۳۲ * ۳۶
قدرت الکتروموتور	۳۵۰ کیلو وات
تعداد الکتروموتور	۱۲ دستگاه (۲ دستگاه به صورت رزرو می‌باشد)
میزان برق مورد نیاز	۳۵۰۰ کیلو وات

جدول ۲- نقطه کار سیستم موقع روشن بودن یک پمپ و ۱۰ پمپ موازی

شرح	یک پمپ روشن	ده پمپ روشن
دبی (لیتر بر ثانیه)	۱۱۹/۴	۱۱۱۱
فشار (متر)	۲۰۴	۲۱۵
راندمان (درصد)	۷۵	۷۷
NPSH	۶/۳	۵/۵

- پروفیل خطوط انتقال آب. - پروفیل خط گرادبان هیدرولیکی.

۲- روش تحلیل ضربه قوچ در شبکه بر اساس روش مشخصه بود.

۱-۲- برای تحلیل نقاط انتهایی شبکه (اتصال مسیرهای اصلی به شبکه‌های آبیاری مجهز به نازل) از مدل روزنه استفاده شد.

۲-۲- به منظور بازبینی شرایط اولیه کارکرد، شبکه آبیاری بدون هیچ گونه وسیله حفاظتی اضافه مدل گردید.

۳-۲- برای حالت کارکرد فوق‌الذکر میزان دبی کل به ازاء کارکرد ۱۰ دستگاه الکتروپمپ معادل ۱۱۱۱ لیتر بر ثانیه اعمال گردید. فشار کارکرد متناظر در خروجی پمپ برای دبی مزبور معادل ۲۱۵ متر فرض شد. همچنین براساس فرمول‌های تجربی موجود، ممان اینرسی مربوط به سیستم الکتروموتور برابر $I = 9 \text{ Kg.m}^2$ انتخاب شد.

۳- اجرای مدل مزبور، بروز پدیده جدایی را در حوالی نقطه عطف لوله (خط MPL - نقطه اتصال بالای کوه و دامنه) نشان می‌داد. شدت بروز پدیده فوق ناشی از وجود شیب نسبتاً تند لوله حد فاصل $X=438$ تا $X=656$ در حدی است که استفاده از تجهیزات متعارف مانند شیر ضد خلاء عملاً ناکارآمد بود. بروز پدیده جدایی در نقطه فوق‌الذکر عملاً بررسی این پدیده در قسمت‌های بعدی شبکه را غیر ممکن و بی‌فایده می‌نمود.

۱-۳- به منظور امکان بررسی کل شبکه، لازم بود ابتدا به نحوی معضل بروز پدیده جدایی را در کیلومتر $X=656$ حل نمود. سه راه حل ممکن به شرح ذیل بود:

- افزایش I (kg.m^2) مرتبط با الکتروموتورها، - ایجاد یک مانع با خط هیدرولیکی ثابت، حدفاصل $X=438$ تا $X=656$ ، - استفاده از مخزن هوای فشرده در محل تلمبه‌خانه.

جدول ۳ - ارزیابی نقاط کار پمپ‌های WKL150/6 در روشن بودن ۱۰ پمپ موازی و ۱ پمپ

شرح	ردیف	نام مسیر	از کیلو متر	تا کیلو متر	طول (متر)	دبی (l/sec)	قطر in ()	V (m/sec)	Hlt (m)	EL.H.G.	EL.S.G.	Wa.Pr.(m)	
ده پمپ موازی روشن	1	MPL	0	675	675	1111	40	1.37	1.74	543.75	342.50	201.25	
	2	MPL	675	1473	798	895	34	1.53	3.04	542.01	471.00	71.01	
	3	MPL	1473	1770	297	783	32	1.51	1.19	538.97	474.00	64.97	
	4	MPL	1770	2331	561	455	24	1.56	3.33	537.78	469.50	68.28	
	5	MPL	2331	3515	1184	325	22	1.33	5.76	534.45	462.00	72.45	
	6	MPL	3515	4705	1190	135	16	1.04	5.37	528.69	458.00	70.69	
								SUM	20.43		523.32	447.00	76.32
	7	LPL1	0	246	246	328	20	1.62	1.94	537.75	470.00	67.75	
	8	LPL1	246	581	335	209	16	1.61	3.39	535.81	470.00	65.81	
	9	LPL1	581	1338	757	86	10	1.70	14.61	532.42	465.00	67.42	
							SUM	19.94		517.81	443.50	74.31	
	10	LPL1-1	0	1720	1720	119	14	1.20	11.76	535.81	470.00	65.81	
							SUM	11.76		524.05	451.00	73.05	
یک پمپ روشن	1	MPL	0	675	675	120	40	0.15	0.03	532.75	342.50	190.25	
	2	MPL	675	1473	798	120	34	0.20	0.07	532.72	471.00	61.72	
	3	MPL	1473	1770	297	120	32	0.23	0.04	532.65	474.00	58.65	
	4	MPL	1770	2331	561	120	24	0.41	0.28	532.61	469.50	63.11	
	5	MPL	2331	3515	1184	120	22	0.49	0.91	532.33	462.00	70.33	
	6	MPL	3515	4705	1190	120	16	0.93	4.31	531.42	458.00	73.42	
								SUM	5.65		527.10	447.00	80.10
	7	LPL1	0	246	246	120	20	0.59	0.30	532.61	470.00	62.61	
	8	LPL1	246	581	335	120	16	0.93	1.21	532.31	470.00	62.31	
	9	LPL1	581	1338	757	86	10	1.70	14.61	531.09	465.00	66.09	
							SUM	16.12		516.49	443.50	72.99	
	10	LPL1-1	0	1720	1720	120	14	1.21	11.95	532.31	470.00	62.31	
							SUM	11.95		520.36	451.00	69.36	

Wa.Pr: فشار آب در نقطه شروع کیلومتر از هر محدوده به متر

Hlt: افت مسیر با احتساب افت‌های اتصالات

EL.H.G: رقوم خط گرادبان هیدرولیکی در نقطه شروع کیلومتر از هر محدوده

EL.S.G: رقوم خط پروژه (مرکز لوله) در نقطه شروع کیلومتر از هر محدوده

از میان گزینه‌های فوق، ساده‌ترین راه از لحاظ محاسباتی، عملاً ناممکن‌ترین روش عملی است. گزینه افزایش I ساده‌ترین روش از لحاظ محاسباتی است.

۳-۲- روند تغییرات میزان I در مدل نشان داد اولین حدی از I که باعث عدم بروز پدیده جدایی میشود برابر $I = 35 \text{ Kg.m}^2$ می‌باشد. مقایسه عدد مزبور با عدد نرم به کار گرفته شده برای موتورها، نمایانگر نیاز شبکه به سیستم حفاظتی است. گرچه به کارگیری ممان اینرسی مزبور نیز به معنای دستیابی به شرایط ایده‌ال در شبکه نبود و صرفاً پدیده جدایی اتفاق نمی‌افتاد (حداقل فشار در $X = 656$ حدوداً برابر $8/5$ متر دیده شد که در مقایسه با خلاء مطلق $9/8$ - متر، حاکی از عدم پدیده جدایی بود).

۳-۳- بررسی روند بروز پدیده در کلیه نقاط شبکه، حاکی از مطلوب بودن نسبی شرایط در نقاط مزبور بود.

۳-۴- در بررسی شبکه مشاهده شد که با توجه به هندسه و توپوگرافی شبکه گسترش یافته، هیچ‌گونه موج برگشتی با ارتفاع بیش از ارتفاع دینامیکی اولیه وجود ندارد. لذا موردی برای نگرانی از افزایش فشار (بیش از حالت پایدار) در محل اتصال به خطوط پلی‌اتیلن وجود ندارد.

۳-۵- عدم بروز موج برگشت با هد بالاتر از حالت پایدار و به تعادل رسیدن شبکه به صورت فوق‌الذکر، باعث توصیه عدم استفاده از شیر یک طرفه به عنوان وسیله کمکی جهت جلوگیری از ضربه قوچ می‌گردد.

۳-۶- نتیجه مهم حاصل شده از این بخش، آگاهی به این مطلب بود که چنانچه مشکل بروز پدیده جدایی (کاهش فشار خطرناک) در نزدیکی نقطه $X = 656$ حل گردد، سایر نقاط شبکه کاملاً ایمن خواهند بود.

۴- در بررسی کامل‌تر شبکه به جهت دستیابی به راه حل عملی، بخش کوچکتري از شبکه با دقت بیشتر مدل گردید و اتصال نقاط حذف شده از شبکه با خطوط باقی مانده به صورت روزنه مدل شد. در این حالت با توجه به غیر عملی بودن روش استفاده از افزایش I ، از کارگیری تانک‌های یک‌طرفه جهت ایجاد خط هیدرولیکی حائل و نیز روش مخزن هوا استفاده شد.

۴-۱- گسترش موج ضربه با سرعتی در حدود 1000 متر بر ثانیه تا 1100 متر بر ثانیه، هر گونه امکان به کارگیری مخازن ضربه‌گیر در نقاطی بعد از $X = 656$ را غیر ممکن می‌سازد زیرا در این حالت، عملاً پس از گسترش موج، مخزن وارد عمل می‌شود و کلیه نقاط تحت موج خلاء قرار می‌گیرد. لذا تنها راه استفاده از مخازن مزبور به کارگیری آنان در حداقل $X = 438$ تا $X = 656$ و وجود خط هیدرولیکی در حد 475 متر می‌باشد. بدیهی است هر چقدر مخازن مزبور به $X = 438$ نزدیکتر باشند اثر کاهش ضربه قوچ آنها بهتر است. تنها اشکال عملی در این خصوص، محدودیت‌های اجرایی و ساختمانی جهت احداث مخازن مرتفع یا دستیابی به سکوها طبیعی با شرایط مناسب است.

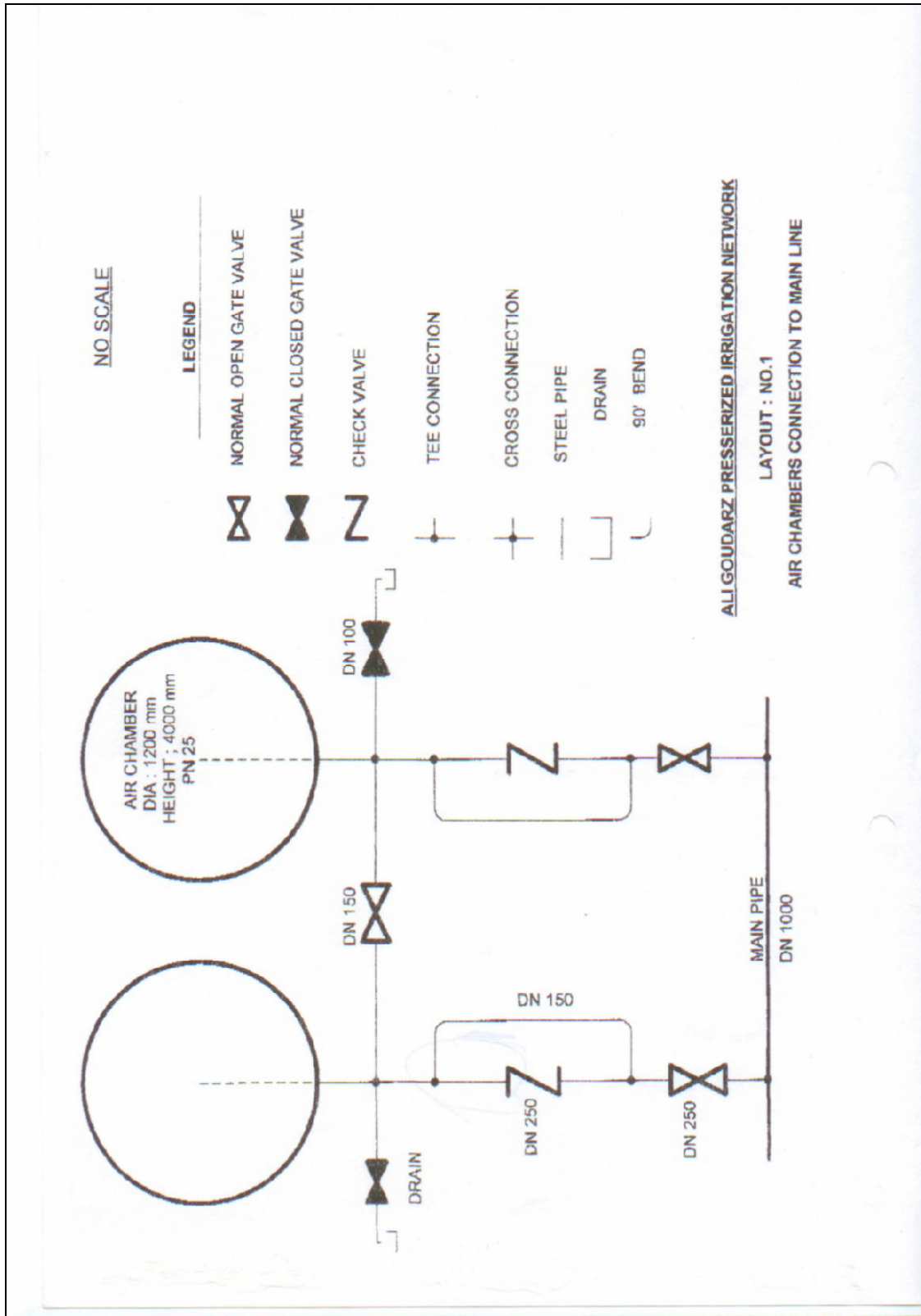
۴-۲- بهترین شرایط حاصله برای به کارگیری مخازن ضربه‌گیر یک طرفه، مخزنی با تراز هیدرولیکی 485 و در $X = 656$ بوده است که میزان حداقل فشار در حد $5/5$ - متر بوده است. کاهش فشار منفی در نقطه $X = 656$ به وسیله مخازن یک‌طرفه به کمتر از میزان فوق‌الذکر و با در نظر گرفتن شرایط توپوگرافی منطقه عملاً ناممکن است.

۴-۳- به کارگیری مخزن هوای فشرده در محل تلمبه‌خانه، به عنوان بهترین راه حل پیشنهادی این مطالعه برای شرایط احجام مختلف مورد بررسی قرار گرفت که به کارگیری مخزن با سطح مقطع 2 مترمربع و حجم اولیه هوا معادل 4 مترمکعب به عنوان گزینه برتر پیشنهاد می‌گردد. که البته استفاده از دو عدد مخزن با قطر $1/2$ متر و ارتفاع 4 متر که به صورت موازی کار می‌کنند توصیه شد. میزان خلاء در صورت به کارگیری مخازن هوای فشرده مزبور به حدود $2/1$ متر کاهش می‌یابد. کاهش میزان خلاء به وسیله افزایش حجم ظرفیت مخزن هوا، به دلیل هندسه خاص اولین نقطه مرتفع شبکه عملی و اقتصادی نیست.

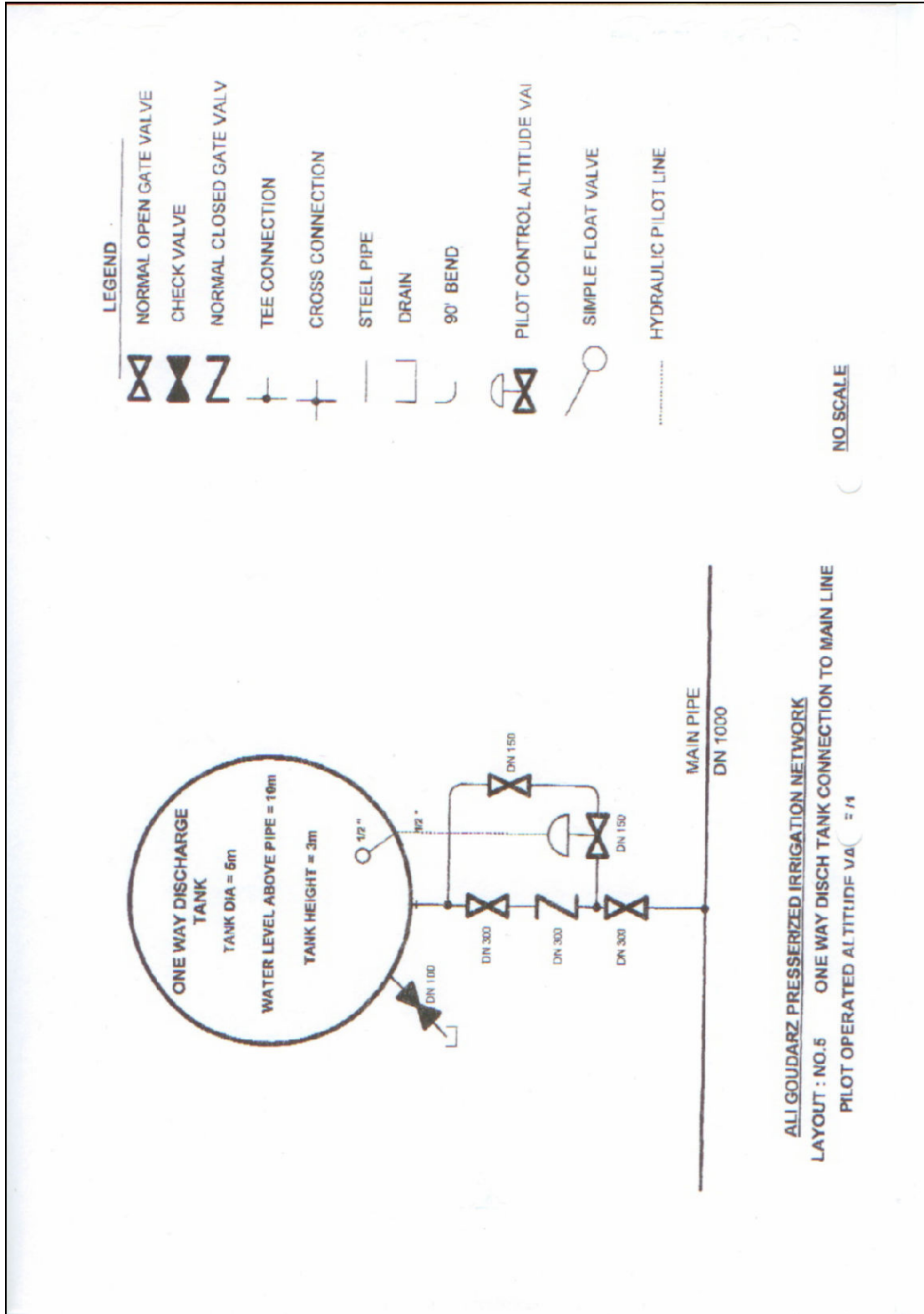
۴-۴- هرگاه بخواهیم میزان حداقل فشار شبکه را در حالت بروز ضربه قوچ به بالاتر از فشار اتمسفر افزایش دهیم، استفاده هم زمان از مخزن هوا در تلمبه‌خانه و مخزن آب یک‌طرفه در مجاورت اولین نقطه مرتفع اجتناب‌ناپذیر است. به کارگیری شیرهای ضد خلاء (هوا) در نزدیکی اولین نقطه مرتفع در صورت به کارگیری مخزن هوا در تلمبه‌خانه می‌تواند باعث ایجاد نوسانات فشاری بسیار شدید گردد. با استفاده از یک مخزن یک‌طرفه با ارتفاع 10 متر در مجاورت نقطه مزبور می‌توان ارتفاع حداقل فشار را به بالاتر از فشار اتمسفر افزایش داد. در شکل 2 طرح اتصال مخزن هوای فشرده و در شکل 3 طرح اتصال مخزن آب یک‌طرفه به خط MPL نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به موارد ذکر شده در بخش نتایج و بحث، استفاده از مخزن هوای فشرده در محل تلمبه‌خانه، مبنای پیشنهاد اصلی این مطالعه بوده است. استفاده از شیرهای هوا در نزدیک اولین نقطه مرتفع می‌تواند باعث بروز نوسانات شدید فشار ناشی از مکش هوا شود. در عین حال باید در نظر داشت وجود چنین شیرهایی برای کارکرد مکش هوا در حالت تخلیه عمده خط یا شکستگی آن و نیز تخلیه آسان ضروری است. بنابراین تنها راه حل ممکن، نصب شیرهای مزبور در نقاط مرتفع است. لکن سیستم باید به نحوی طراحی شود که شیرهای مزبور در حالت قطع آبی پمپاژ هیچ گونه هوایی را داخل خط نکنند و فقط در موارد تخلیه یا شکستگی عمل نمایند، مضاف آنکه آنها نقش تخلیه هوای خط در ابتدای راه‌اندازی را نیز به عهده خواهند داشت. این مهم صرفاً با نصب یک مخزن یک‌طرفه در مجاورت اولین نقطه مرتفع ممکن خواهد بود. واضح است ترکیب سه وسیله حفاظتی، مخزن هوای فشرده در محل تلمبه‌خانه، مخزن با شیر یک‌طرفه در محل اولین نقطه مرتفع و شیرهای هوا در فواصل معین و نقاط مرتفع، کلیه نیازهای شبکه را در حالت قطع پمپاژ فراهم خواهد نمود.



شکل (۲) - طرح اتصال مخزن هوای فشرده به خط لوله اصلی



شکل (۳) - طرح اتصال مخزن آب یک طرفه به لوله اصلی

منابع

- [۱]- وزارت جهاد کشاورزی، معاونت امور فنی و زیربنایی. (۱۳۷۹). ضوابط و معیارهای فنی روش‌های آبیاری تحت فشار، جلد پنجم: ضوابط طراحی خطوط لوله در روش‌های آبیاری تحت فشار.
- [۲]- نوریخس، ا. (۱۳۷۳). پمپ و پمپاژ. انتشارات دانشگاه تهران.
- [۳]- نشان، ح. (۱۳۶۴). ضربت قوچی آب. شرکت صنایع پمپ سازی ایران.
- [۴]- شرکت خدمات مهندسی آب و خاک کشور (مدیریت مطالعات کرخه). (۱۳۸۲). گزارش فنی تکمیلی تأمین آب اراضی خشکه‌رود الیگودرز (جلد هفتم).