


Evaluation of Hydraulic Performance of Ilam Gas Refinery Fire-Fighting Water Network (Middle Ring)

Jafar Mamizadeh ^{1*}, Ali Kamandi ²

1- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, IRAN.

2- M.Sc., Head of Firefighting Department, Ilam Gas Refinery, Ilam, IRAN.

*j.mamizadeh@ilam.ac.ir

Received: 15 April 2019, Accepted: 23 July 2019  J. Hydraul. Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: Fire water distribution networks consist of interconnected sets of reservoirs, pipes, pumps, hydrants, hose reels and valves that are responsible for the transfer and distribution of water with suitable pressure and quality for firefighting demands. Hydraulic simulation of conveyance lines and fire-fighting distribution networks are considered appropriate tools for their assessment. In this research, Ilam gas refinery fire water network (middle ring) was evaluated using field studies and hydraulic simulation software.

Methodology: Ilam gas refinery fire water network is divided into upper, middle and bottom rings. Each rings of the network are responsible for the one part of the refinery area. The maximum and minimum diameter of the distribution pipes is 14 inches and 6 inches, respectively. Polyethylene pipes have a working pressure of 16 bars. The maximum allowable velocity in the pipes is 3.5 m/s. At the refinery site, several centrifugal pumps have been used to supply pressure during firefighting, maintaining a pressure of 10 bar in the main ring. The total number of hydrants, shut-off valves and hose reels are 170, 147 and 76, respectively. WaterGEMS hydraulic software was used to simulate Ilam gas refinery fire water network.

Results and discussion: Different fire scenarios were carried out to investigate the operation of fire-fighting network. The most critical scenario was the fires in floating roof tanks; with a flow rate of 1375 m³/h. Hydraulic simulation of the water conveyance pipeline from the main reservoir to the middle ring reservoir were carried out in four modes of gate valve operation. Field investigation showed that 20 percent of hydrants have problems and leaks. Field inspection of the cooling system operation of floating roof tanks was carried out with the activation of one and two electric pumps. The measured pressure gauge at the pumping station with one and two pumps is 11 and 12 bars, and these pressures are higher than 10 bar allowable pressure. The field inspection of tanks foam system was performed with the one of a diesel pump. The pressure gauge showed 12 bars at the middle-pumping station, which could cause a failure of the ring equipment.

Conclusion: In this research, the middle ring of the fire water network of Ilam gas refinery was tested and evaluated using the WaterGEMS hydraulic simulation software. Different scenarios related to this ring, which included the simultaneous operation of several hydrants and deluge valve in different areas, were simulated. Sensitivity analysis was performed on changes in the roughness coefficient of pipes and the required flow rate in the network. With

an increase of roughness by 20%, the average pressure in the middle ring decreased by as much as 3.5%. In the case of increasing the required flow, the pumping pressure and deluge valve pressure drop by 3.2 and 12.2%, respectively. The results of the study indicate the proper operation of the firefighting water network, but in some cases the pressure generated at the pumping station is higher than the recommended values in the design, which in the long period could result in inappropriate performance.

Keywords: Fire-fighting, Ilam gas refinery, Hydraulic simulation, WaterGEMS.

ارزیابی عملکرد هیدرولیکی شبکه آب آتش‌نشانی پالایشگاه گاز ایلام (رینگ میانی)

جعفر مامی زاده^{۱*}، علی کمندی^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی آب دانشگاه ایلام.

۲- کارشناس ارشد، رئیس واحد آتش‌نشانی پالایشگاه گاز ایلام.

*j.mamizadeh@ilam.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۶، پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۰۱ ☞ وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: شبیه‌سازی هیدرولیکی خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب آتش‌نشانی ابزار مناسبی برای ارزیابی آنهاست. در این تحقیق عملکرد شبکه آب آتش‌نشانی پالایشگاه گاز ایلام (رینگ میانی) با بررسی‌های میدانی و شبیه‌سازی هیدرولیکی ارزیابی شد و نیازها و نارسایی‌های این شبکه شناسایی شد. شبکه آب آتش‌نشانی پالایشگاه به سه ناحیه یا رینگ بالایی، میانی و پایینی تقسیم شده است و هر ناحیه وظیفه اطفای حریق بخشی از محدوده پالایشگاه را بر عهده دارد. محاسبات هیدرولیکی خط انتقال آب از منبع آب اصلی پالایشگاه به منبع آب رینگ میانی دارای شیر کشویی در چهار حالت بهره‌برداری انجام گرفت. پیش‌فرض‌های مختلف آتش‌سوزی برای بررسی عملکرد شبکه آب آتش‌نشانی انجام گرفت. بحرانی‌ترین پیش‌فرض، آتش‌سوزی در مخزن‌های استوانه‌ای با سقف شناور است که دبی مورد نیاز برای اطفای حریق آن $1275 \text{ m}^3/\text{h}$ است. تحلیل حساسیت نسبت به تغییرپذیری ضریب زبری لوله‌ها و دبی مورد نیاز در شبکه انجام گرفت. با افزایش ۲۰ درصدی زبری، فشار در رینگ ۳/۵ درصد کاهش یافت. در حالت افزایش دبی مورد نیاز، فشار پمپاژ و دلوج به ترتیب ۳/۲ و ۱۲/۲ درصد کاهش یافت. بازدیدهای میدانی انجام گرفته نشان داد که ۲۰ درصد از شیرهای آتش‌نشانی شبکه دچار خرابی و نشت هستند. بررسی میدانی عملکرد سامانه خنک‌کاری مخزن‌های استوانه‌ای با روشن بودن یک و دو پمپ الکتریکی انجام گردید. بررسی میدانی سامانه فوم مخزن‌های استوانه‌ای با روشن بودن یک پمپ دیزل انجام شد. فشار مربوطه در حین مانور در ایستگاه پمپاژ رینگ میانی برابر با ۱۲ بار ثبت شد و این فشار بالا می‌تواند باعث خرابی تجهیزات رینگ شود.

کلید واژگان: آتش‌نشانی، پالایشگاه گاز ایلام، شبیه‌سازی هیدرولیکی، WaterGEMS.

۱- مقدمه

پیوسته از مخزن‌ها، لوله‌ها، پمپ‌ها، شیرهای آتش‌نشانی^۱، هوزریل‌ها^۲ و شیرآلات مختلف هستند که وظیفه انتقال و توزیع آب با کمیت، کیفیت و فشار مناسب را برای اطفای حریق بر عهده دارند. Abzadeh and JaliliGhazizadeh. (2009) معیار طراحی شبکه‌های توزیع آب در ایران برای اطفای آتش‌سوزی را با دیگر کشورها مقایسه کردند. این مقایسه نشان داد که بررسی‌های بیشتری در زمینه تدقیق معیار طراحی آتش‌نشانی در داخل و خارج کشور مورد نیاز است. (Zaji and Barani (2011) با استفاده از روش مکانیابی به طراحی بهینه تعداد و مکان شیرهای آتش‌نشانی

شبکه‌های توزیع آب شهری برای برآورد نیاز بیشینه‌ی ساعتی و همچنین نیاز آب آتش‌نشانی طراحی می‌شوند (Ministry of Energy., 2011). یک شبکه آبرسانی باید بتواند نیازهای آبی را از نظر کیفی و کمی برابر استانداردهای موجود بخوبی تامین کند. نیاز آب آتش‌نشانی در صنایع و کارخانه‌های مختلف زیاد بوده و طراحی این سامانه‌ها به صورت جداگانه انجام می‌شود. شبکه‌های توزیع آب آتش‌نشانی در صنایع مختلف شامل مجموعه‌ای به هم

² Hose reels

¹ Hydrants

شامل ۱۱۳۰۰۰ لوله، ۹۹۰۰۰ گره و ۳۲۰۰ شیر آتش‌نشانی بود، ساخته شد. آنگاه مقدار مورد نیاز آب آتش‌نشانی ارزیابی شد. نتایج تحقیق نشان داد که به تقریب همه گره‌های متصل به لوله‌های با قطر ۴۰۰ میلی‌متر و بالاتر توانایی تامین نیاز آب برای اطفای حریق را دارند.

تاکنون تحقیقات جامعی در زمینه مدل‌سازی و تحلیل هیدرولیکی شبکه آبرسانی شهرها انجام شده اما بررسی‌ها در زمینه شبکه اطفاء حریق صنایع محدود است. با توجه به اهمیت و امکان رخداد آتش‌سوزی در صنایع مختلف مانند پالایشگاه، انجام چنین بررسی‌هایی ضروری است. در حال حاضر نیاز آب آتش‌نشانی، بهداشتی و فضای سبز پالایشگاه گاز ایلام از طریق چند حلقه چاه واقع در شهرستان سراب ایوان تامین می‌شود. ارزیابی و تجزیه و تحلیل نارسایی‌ها و تنگناهای این شبکه با توجه به امکان رخداد آتش‌سوزی یکی از ضرورت‌های مهم است و شبیه‌سازی هیدرولیکی خطوط انتقال و توزیع آب آتش‌نشانی ابزار مناسبی برای ارزیابی آنها تلقی شود.

۲- مواد و روش‌ها

پالایشگاه گاز ایلام برای تأمین گاز مصرفی استان ایلام و استان‌های غربی کشور و تأمین خوراک پتروشیمی ایلام و تقویت فشار گاز غرب کشور توسط پالایش گاز میدان تنگ بیجار، در ۲۵ کیلومتری شمال غرب شهر چوار احداث شده است (شکل ۱). شبکه آب آتش‌نشانی به دلیل اختلاف ارتفاع زیاد محوطه پالایشگاه (نزدیک ۱۰۳ متر)، به سه ناحیه یا رینگ بالایی، میانی و پایینی تقسیم‌بندی شده است. هر ناحیه از شبکه وظیفه اطفای حریق بخشی از محدوده پالایشگاه را بر عهده دارد. جداسازی این نواحی توسط شیرهایی که در حالت عادی بسته هستند انجام شده است. یک خط لوله ثقلی که آب را از منبع اصلی پالایشگاه (منبع دوقلوی ۵۰۰۰ مترمکعبی) دریافت می‌کند، تامین‌کننده آب در ناحیه‌های مختلف است. در نقشه شبکه آب آتش‌نشانی (تهیه شده توسط واحد آتش‌نشانی پالایشگاه) موقعیت شیرهای آتش‌نشانی، منپول‌ها و شیرهای قطع و وصل و هوزریل‌ها مشخص است. برخی از مشخصات لوله‌ها، گره‌ها و مخازن در آن موجود نیست که اصلاح و تکمیل آنها در

پرداختند. نتایج بدست آمده نشان داد که الگوریتم موجود به علت سادگی و سرعت بالای حل می‌تواند برای هدف‌های عملی و طراحی آبرسانی شهری استفاده شود و پاسخ بهینه مکان‌یابی شیرهای آتش‌نشانی به دست می‌آید. Biareh et al. (2016) به بررسی پدیده ضربه قوچ در خروجی پمپ‌های آتش‌نشانی پالایشگاه پارسین و ارائه راهکاری نوین برای مهار آن پرداختند. در این تحقیق پمپ و لوله‌های توزیع آب آتش‌نشانی به وسیله نرم افزار Hammer شبیه‌سازی شد و نمودارهای تغییر فشار در نتیجه خاموش شدن ناگهانی پمپ ترسیم شد. نتایج نشان داد که استفاده از تانک موجگیر و مخزن تحت فشار که ابعاد بهینه آن با استفاده از سعی و خطا به دست آمده است، نه تنها در مهار و حذف پدیده ضربه قوچ کمک می‌کند بلکه پس از خاموش شدن پمپ از افت ناگهانی فشار در مواقع اضطراری جلوگیری به عمل می‌آورد و از یک حادثه بزرگ پیشگیری می‌کند. Asgaripour et al. (2018) مدلسازی هیدرولیکی شبکه آتش‌نشانی یک نیروگاه چرخه ترکیبی با رویکرد ارزیابی و تحلیل کارایی سامانه اطفاء حریق را انجام دادند. مدل‌سازی شبکه در سه پیش‌فرض احتمالی با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS انجام شد. نتایج بررسی نشان داد که شبکه و ایستگاه پمپاژ، برای اطفاء حریق‌های در اندازه کوچک و متوسط قادر به تأمین فشار و دبی آب برای خنک‌کاری و تولید فوم می‌باشد. در شرایط خاص و با رخداد حریق‌های گسترده، فشار در شبکه به $3/6$ بار کاهش می‌یابد و کارایی لازم را جهت اطفاء حریق و پاشش آب و فوم نخواهد داشت. Kanta et al. (2011) به بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب شهری با در نظر گرفتن تقاضای مورد نیاز آتش‌نشانی برای اطفای حریق پرداختند. از الگوریتم ژنتیک چندهدفه برای بهینه‌سازی استفاده شد و تابع‌های هدف آن به ترتیب شامل کمینه‌ی آسیب و زیان آتش‌سوزی، کمینه‌سازی کاهش کیفیت آب و کمینه کردن هزینه بود. الگوریتم استفاده شده برای بهینه‌سازی چندین شبکه با موفقیت انجام شد. Xiao et al. (2014) به بررسی مقدار مورد نیاز آب آتش‌نشانی در شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از مدل تحلیل هیدرولیکی پرداختند. در آغاز مدل هیدرولیکی یکی از شهرهای جنوبی چین که

الکتریکی و دو پمپ دیزلی به صورت ذخیره استفاده شده است. آب مورد نیاز اطفاء حریق در رینگ پایینی به صورت نقلی از منبع اصلی شبکه (R-1) دریافت می‌شود. در محوطه پالایشگاه از شیر آتش نشانی نوع ایستاده خشک استفاده شده است. فاصله شیرها در ناحیه‌های فرایندی ۴۰ متر و در سایر ناحیه‌ها برابر با ۶۰ متر است. جنس شیرها چدن و قطر آنها ۶ اینچ است. شیرهای آتش‌نشانی دارای ۳ خروجی آب هستند که دو خروجی ۲/۵ اینچ و یک خروجی دیگر ۴ اینچ می‌باشند. شیرهای آتش‌نشانی باید توانایی عبوردهی دبی دست‌کم ۲۰۰۰ لیتر در دقیقه با فشار ۷ بار را داشته باشند. تعداد کل شیرهای آتش‌نشانی، شیرهای قطع و وصل و هوزریل‌ها به ترتیب ۱۷۰، ۱۴۷ و ۷۶ عدد است. در سایت پالایشگاه ۱۲ عدد دلوچ ولو^۳ وجود دارد که ۸ عدد آنها برای خنک‌کاری و ۲ مورد برای ایستگاه فوم ساز مخزن‌های استوانه‌ای و کروی و ۲ عدد آنها در بخش فرایندی در واحد اتان‌زدایی تعبیه شده‌اند.

این تحقیق انجام شده است. در شکل (۲) جزئیات مربوط به ناحیه مخزن‌های با سقف شناور که در رینگ میانی قرار دارد آورده شده است. شبکه توزیع آب تعدادی شیر قطع و وصل پروانه‌ای دارد که همگی دارای حوضچه بوده و در شرایط عادی باز هستند. بیشینه و کمینه قطر استفاده شده لوله‌های توزیع به ترتیب برابر با ۱۴ اینچ و ۶ اینچ است. جنس لوله‌ها پلی‌اتیلن (PE100) و فشار کارکرد آنها ۱۶ بار است (HIRBODAN CO, 2000). برای حفاظت رینگ اصلی شبکه در برابر یخ‌زدگی، ضربه، انفجار و دیگر موارد، لوله‌ها در عمق دست‌کم ۱۰۰ سانتی‌متری کار گذاشته شده‌اند. بیشینه سرعت مجاز در لوله‌ها ۳/۵ متر در ثانیه است (HIRBODAN CO, 2000). در سایت پالایشگاه برای تامین فشار مورد نیاز در هنگام آتش‌سوزی از چند پمپ سانتریفیوژ استفاده شده که فشار را در رینگ اصلی در حد ۱۰ بار ثابت نگه می‌دارند. در رینگ بالایی از یک پمپ الکتریکی و یک پمپ دیزلی به صورت ذخیره استفاده شده است. در رینگ میانی از دو پمپ



Fig. 1 General location of the refinery site
 شکل ۱ موقعیت کلی سایت پالایشگاه

³ Deluge valve

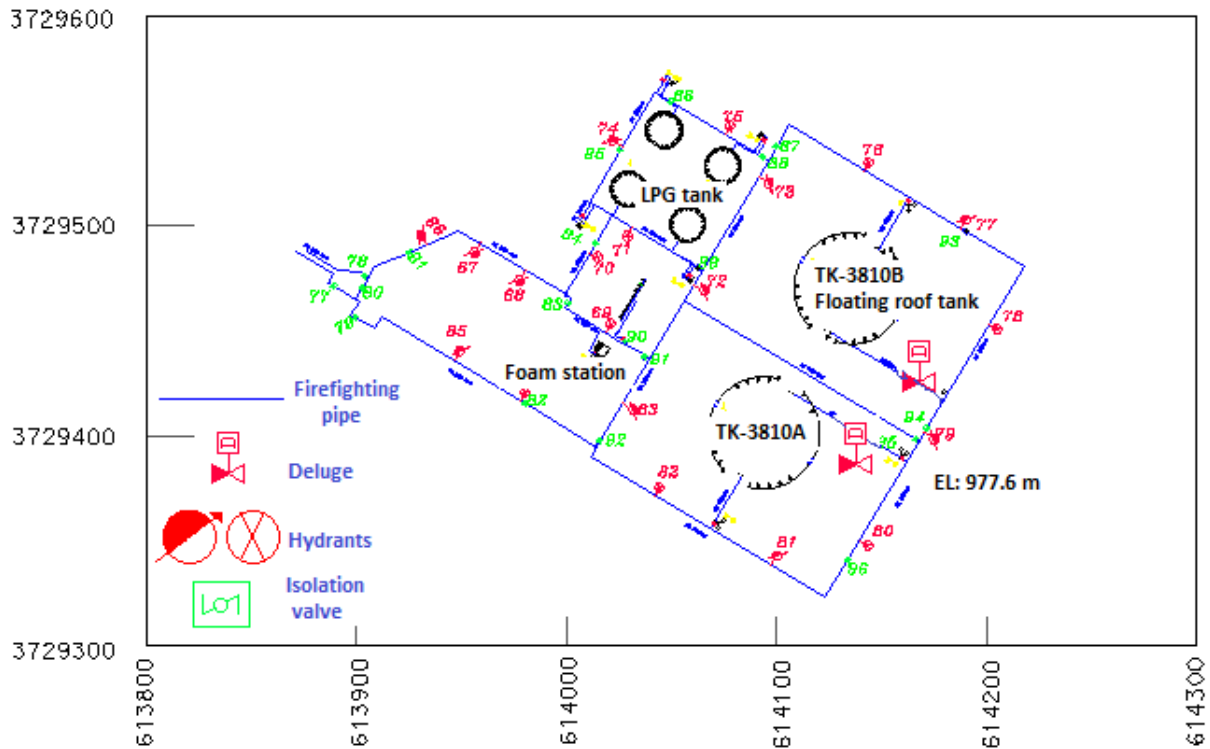


Fig. 2 Details of floating roof tanks site

شکل ۲ جزئیات ناحیه مخزن‌های با سقف شناور

افت هد در هر حلقه در واقع برگرفته از قانون بقای انرژی می‌باشد. افت هد در هر لوله با استفاده از رابطه (۲) قابل محاسبه می‌باشد:

$$h_f = RQ^n \quad (2)$$

در این رابطه Q دبی لوله و R و n فراسنج‌هایی ثابت هستند. R که مشخصه افت انرژی هر خط لوله است، بوسیله یکی از رابطه‌های دارسی-وایسباخ (۳) یا هیزن ویلیامز (۴) محاسبه می‌شود:

$$R = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} \quad (3)$$

$$R = \frac{10.68L}{C^{1.852} D^{4.87}} \quad (4)$$

در این رابطه‌ها f ضریب دارسی ویسباخ، D قطر لوله و C ضریب هیزن ویلیامز است. اگر رابطه انرژی برای یک حلقه نوشته شود، رابطه (۵) صادق خواهد بود:

$$\sum_{i=1}^{npl} h_{il} = \sum_{i=1}^{npl} R_{il} Q_{il}^n = 0 \quad l = 1, 2, \dots, L \quad (5)$$

برای شبیه‌سازی هیدرولیکی شبکه آب آتش‌نشانی پالایشگاه از نرم افزار WaterGEMS استفاده شده است. این نرم‌افزار یک برنامه توانمند برای شبیه‌سازی خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب شهری است. نسخه اولیه این نرم‌افزار در سال ۲۰۰۳ توسط شرکت Haestad Methods در آمریکا انتشار یافت. این نرم افزار قابلیت‌های فراوانی مانند شبیه سازی شبکه به صورت جریان ماندگار و یا دوره زمانی گسترش یافته، شبیه‌سازی آب آتش‌نشانی، شبیه‌سازی کیفیت شبکه آب و مدل‌سازی آلودگی، محاسبات هزینه انرژی و بهینه‌سازی شبکه توزیع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک را دارد. به طور کلی معادله‌های حاکم بر تحلیل هیدرولیکی شبکه‌ها در حالت ماندگار قانون بقای جرم و بقای انرژی است. بنا بر قانون پیوستگی (رابطه ۱)، جمع جبری جریان‌های ورودی و خروجی از هر گره مانند n باید برابر صفر باشد:

$$\sum_{i=1}^{np} Q_{in} + q_n = 0 \quad n = (1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

که در آن np تعداد لوله‌های متصل به گره n ، Q_{in} دبی لوله i متصل به گره n و q_n دبی مصرف‌شده در گره n است. رابطه

در معرض آتش قرار دارند. دبی مورد نیاز برای خنک‌سازی مخزن اصلی ۳۰۰ مترمکعب در ساعت و سه مخزن دیگر نیز ۳۶۰ مترمکعب در ساعت لحاظ می‌شود. دو عدد شیر آتش نشانی نیز با دبی ۲۴۰ مترمکعب در ساعت مورد نیاز است. بنابراین مجموع دبی مورد نیاز ۹۰۰ مترمکعب در ساعت است.

۳-۱- شبیه‌سازی هیدرولیکی مسیر خط انتقال آب

از منبع R1 به منبع R2

در این خط آب از منبع موجود در ارتفاع ۱۰۵۰ متری از سطح دریا به منبع R2 در ارتفاع ۹۷۲ متری به صورت ثقلی منتقل می‌شود. یک شیر کشویی در نزدیک منبع R2 جهت قطع و وصل و تنظیم جریان قرار داده شده است. لوله مورد استفاده پلی اتیلن از جنس PE 100 بوده و طول آن برابر ۲۰۰۰ متر است. قطر لوله، ضریب زبری هیزن ویلیامز و فشار کاری لوله به ترتیب ۳۵۵ میلی‌متر، ۱۳۰ و ۱۶ بار است. نتایج محاسبات هیدرولیکی در خط انتقال با توجه به تنظیمات شیر کشویی نزدیک منبع R2 در چهار حالت باز کامل، نیمه باز، یک چهارم باز و بدون شیر انجام گرفته است. ضریب‌های افت موضعی شیر کشویی در شرایط مختلف بازشدگی در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج محاسبات هیدرولیکی با وجود شیر کشویی نشان می‌دهد که با وجود بستن شیر تا ۷۵ درصد، دبی به میزان ۱۷ درصد کاهش داشته است. بنابراین این شیر کارایی لازم را برای مدیریت و مهار جریان ندارد و تنها می‌بایست به عنوان شیر قطع و وصل استفاده شود. در صورتی که مدیریت و مهار دبی مدنظر است می‌بایست از شیر گلوب یا پروانه‌ای استفاده کرد.

۳-۲- محاسبات فشار ایستایی رینگ میانی و کل

رینگ

با توجه به اختلاف ارتفاع نزدیک به ۸۰ متری منبع اصلی و منبع رینگ میانی، شبکه توسط یک خط لوله فلزی ۵۰ میلی‌متری که خط انتقال ثقلی و لوله رانش ایستگاه پمپاژ را به هم وصل می‌کند، به صورت تحت فشار در آمده است. در واقع اگر شبکه در حالت ثقلی و بدون اینکه ایستگاه پمپاژ تحت بهره برداری باشد تحت فشار ایستایی تقریبی برابر با

h_{il} افت هد در لوله i از حلقه l ، R_{il} مشخصه افت هد در لوله i از حلقه l ، Q_{il} دبی لوله i از حلقه l تعداد لوله‌های تشکیل دهنده حلقه l .

پس از تشکیل دستگاه معادله‌های غیرخطی در شبکه توزیع آب، تحلیل هیدرولیکی شبکه‌ها، از روش‌های مبتنی بر تکرار برای حل آنها استفاده می‌شود.

۳- نتایج و بحث

شبیه‌سازی هیدرولیکی خط انتقال بین مخزن‌های آب و هر یک از رینگ‌های پالایشگاه به صورت جداگانه بررسی می‌شود. در آغاز شبیه‌سازی هیدرولیکی خط انتقال آب از مخزن TK-22-100 (مخزن R1) به مخزن TK-9510A,B (مخزن R2) صورت می‌گیرد. در ادامه شبیه‌سازی رینگ میانی انجام می‌شود. پیش‌فرض‌های مختلفی به شرح زیر برای ارزیابی عملکرد هیدرولیکی شبکه آب‌آتش نشانی انجام گرفت:

- پیش‌فرض ۱ (آتش‌سوزی در ناحیه فرآیندی Dehydration and C2 Recovery Unit): در این حالت از ۸ شیر آتش‌نشانی و مانیتور برای اطفاء حریق استفاده می‌شود. دبی هر شیر آتش‌نشانی یا مانیتور ۱۲۰ مترمکعب در ساعت است. بنابراین دبی مورد نیاز ۹۶۰ مترمکعب در ساعت است.

- پیش‌فرض ۲ (آتش‌سوزی در مخازن استوانه‌ای Floating Roof Tanks): این سناریو شامل آتش‌سوزی یکی از دو مخزن استوانه‌ای مجاور هم در پالایشگاه است. در هنگام آتش‌سوزی یکی از مخزن‌ها، طرف دیگر مخزن مجاور آن نیز در معرض آتش‌سوزی قرار دارد و می‌بایست آب مورد نیاز خنک‌کاری آن نیز لحاظ شود. آب مورد نیاز برای خنک‌سازی هر طرف مخزن برابر ۳۶۰ مترمکعب در ساعت است. دبی مورد نیاز سامانه فوم ساز برابر ۵۵ مترمکعب در ساعت و دبی مورد نیاز دو عدد شیر آتش‌نشانی ۲۴۰ مترمکعب در ساعت است. بنابراین دبی کل مورد نیاز ۱۳۷۵ مترمکعب در ساعت است (HIRBODAN CO, 2000).

- پیش‌فرض ۳ (آتش‌سوزی در LPG Tanks): این پیش‌فرض نیز شامل آتش‌سوزی یکی از مخزن‌های کروی است. در این حالت سه مخزن کروی دیگر نیز

جدول ۱ نتایج محاسبات هیدرولیکی خط انتقال R1 به R2 با وجود شیر کشویی

Table 1 Hydraulic calculation results of R1 to R2 conveyance line

Row	Downstream gate valve	Head loss coefficient	Discharge (m ³ /hr)	Pipe velocity (m/s)	Head loss gradient (m/km)	Valve head loss (m)
1	No valve	0	1172	4.91	66.75	0
2	Fully open	0.39	1168	4.89	72.08	0.48
3	Three quarters open	1.1	1160	4.86	81.60	1.32
4	Two quarters open	4.8	1125	4.71	127.67	5.43
5	one quarters open	27	966	4.05	319.57	22.55

رینگ میانی برای شیر آتش‌نشانی واقع در بخش جنوبی واحد آتش‌نشانی انجام شد و دبی شیر آتش‌نشانی تحت فشار ۶ بار و با خروجی ۲/۵ اینچی، ۹۴/۷ مترمکعب در ساعت بود. نتایج به دست آمده از این آزمایش به تقریب با اعداد ذکر شده در کالانمای شیرهای آتش‌نشانی (دبی ۱۲۰ مترمکعب در ساعت تحت فشار ۷ بار) همخوانی دارد.



Fig. 3 Instruments and methods for measuring static pressure

شکل ۳ وسایل و نحوه اندازه‌گیری فشار ایستایی

۳-۳- شبیه سازی هیدرولیکی رینگ میانی در

حالت تامین فشار به صورت ثقلی

شبکه رینگ میانی توسط یک خط لوله فلزی ۲ اینچی (۵۰ میلیمتری) که خط انتقال ثقلی و لوله رانش ایستگاه پمپاژ را به هم وصل می‌کند، به صورت تحت فشار در آمده است. طول تقریبی لوله ۲ اینچی ۸ متر است. بنابراین این رینگ بدون وجود ایستگاه پمپاژ تحت فشار استاتیک تقریبی ۸۰ متر آب است. ایستگاه پمپاژ هنگامی بهره‌برداری می‌شود که فشار در ابتدای خط رانش به زیر ۴ بار برسد. در این حالت شبکه به صورت ثقلی توانایی اطفای حریق را ندارد. برای دستیابی به بیشینه توانایی شبکه در حالت ثقلی برای اطفای حریق چندین پیش‌فرض شامل کارکرد همزمان یک تا چهار شیر آتش‌نشانی در نظر گرفته شد. برای اطفای حریق بسته به گستره آتش‌سوزی ممکن است از یک یا چندین شیر آتش‌نشانی استفاده شود. حریق ایجاد شده می‌تواند در هر یک از نقاط مورد نظر در پالایشگاه اعمال شود. در هر یک از پیش‌فرض‌های بالا ممکن است فشار در ابتدای خط رانش به زیر ۴ بار برسد که در این حالت مشخص است که شبکه ثقلی قابلیت اطفای حریق را ندارد و ایستگاه پمپاژ باید وارد مدار شود. نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی برای شرایط مختلف در جدول ۲ آمده است.

۸۰ متر آب است. برای کنترل فشار ایستایی و یافتن نقاط احتمالی نشت در شبکه، اندازه‌گیری میدانی فشار ایستایی در کل رینگ (شکل ۳) انجام گرفت. چندین شیر آتش‌نشانی در رینگ انتخاب شدند و آنگاه اندازه‌گیری فشار انجام شد. شیرهای آتش‌نشانی انتخابی در بخش‌های شمالی و جنوبی هر یک از ساختمان‌ها و مخازن قرار داشتند. برای ارزیابی فشارسنج‌های موجود، سه عدد از آنها در بخش ابزار دقیق پالایشگاه و با دستگاه پمپ دستی آزمایش شد. تنها در یک مورد مقدار فشار به مقدار یک بار کمتر از مقدار واقعی بود و این خطا اصلاح شد. اختلاف فشار مقادیر اندازه‌گیری شده با فشار استاتیک، حداکثر در حدود یک بار بوده که این اختلاف می‌تواند مربوط به خطای نقشه‌برداری، خطای نشانگر فشار یا نشت در شبکه باشد. بازدیدهای میدانی انجام گرفته نشان داد که برخی از شیرهای آتش‌نشانی خراب هستند. کل شیرهای آتش‌نشانی پیمایش شده ۳۹ عدد بوده که از این تعداد ۸ عدد آن خراب بود. به عبارت دیگر ۲۰ درصد از شیرهای آتش‌نشانی شبکه خراب است. اندازه‌گیری دبی واقعی شیرهای آتش‌نشانی تحت فشارهای مختلف برای اطفای حریق مورد نیاز است که این کار در

جدول ۲ نتایج شبیه سازی هیدرولیکی رینگ میانی در حالت تامین فشار به صورت ثقلی
Table 2 Hydraulic simulation results of the middle ring in gravity pressure mode

Row	Hydrant number	Discharge (m ³ /hr)	Hydrant pressure (bar)	PS2 pressure (bar)	Pipe diameter (mm)	Pipe velocity (m/s)	Pipe head loss(m)
1	27	120	0.16	3.12	50	16.98	43.05
2	27	120	4.23	7.19	100	4.24	1.47
3	27	120	4.37	7.33	200	1.06	0.05
4	27,33	240	-11.53	-8.14	50	33.95	155.3
5	27,33	240	3.16,3.19	6.55	100	8.49	5.31
6	27,33	240	3.66,3.69	7.05	200	2.12	0.18
7	27,28,32,33	480	0.83,0.86	4.24	100	16.98	19.17
8	27,28,32,33	480	0.98,1.09	6.05	200	4.24	0.66

شدن پمپ در مدار و وجود شیر یکطرفه روی لوله با قطر ۲ اینچ، این لوله بسته شده و ارتباط بین مخزن بالادست با لوله رانش پمپ قطع می‌شود. بنابراین در این حالت مخزن بالادست و لوله ۲ اینچی از مدار قطع شده و تنها منبع تامین دبی جریان، مخزن میانی مربوط به ایستگاه پمپاژ است. بحرانی‌ترین پیش‌فرض در رینگ میانی مربوط به آتش سوزی در یکی از مخزن‌های با سقف شناور است. فرض می‌شود که مخزن TK3810B دچار حریق شود. در این حالت دبی مورد نیاز آتش‌نشانی برابر با ۱۳۲۰ مترمکعب در ساعت است. این دبی برابر با مجموع دبی لازم برای سامانه خنک کاری دو طرف یکی از مخازن و یک طرف از مخزن دیگر که در معرض آتش قرار گرفته و دو شیر آتش‌نشانی مانیتور است. دبی مورد نیاز هر طرف مخزن‌ها برای خنک‌سازی ۳۶۰ مترمکعب در ساعت و دبی هر شیر آتش‌نشانی هم ۱۲۰ مترمکعب در ساعت است. بنابراین مجموع دبی‌ها ۱۳۲۰ مترمکعب است. برابر با شکل ۴ دبی ۷۲۰ مترمکعب در ساعت به دو نقطه STKB-1 و STKB-2، دبی ۳۶۰ مترمکعب در ساعت به نقطه STKA-1 و دبی ۲۴۰ مترمکعب در ساعت به دو شیر آتش‌نشانی مانیتور HTKB-1 و HTKB-2 اختصاص یافت. دبی‌های اختصاص یافته در این شرایط به عنوان دبی عادی نامگذاری شد. نتایج مربوط به فشار و سرعت در دو مسیر پمپ تا مخزن B و پمپ تا مخزن A در جدول ۳ نشان می‌دهد که کمترین فشار در روی سقف مخزن شناور ۳۸ متر و در روی دلوج ۶۶ متر است. برای تامین ارتفاع بیشتر روی دلوج‌ها یا سقف مخزن

برابر با جدول نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی مشاهده می‌شود که اگر قطر لوله انشعاب ۵۰ میلی‌متر باشد، سرعت جریان در لوله ۱۷ متر در ثانیه و افت انرژی آن نزدیک به ۴۳ متر است. همین افت انرژی زیاد باعث پایین آمدن فشار (۳/۱۲ بار) در نزدیک ایستگاه پمپاژ شده و بنابراین شبکه ثقلی نمی‌تواند برای این شرایط پاسخگو باشد و می‌بایست ایستگاه پمپاژ وارد مدار شود. مقادیر سرعت در لوله بالاتر از مقدار مجاز بوده و می‌بایست قطر لوله را در حد امکان افزایش داد. برای بررسی تاثیر قطر لوله انشعاب بر توانایی تامین نیاز آتش‌نشانی دو قطر ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر نیز لحاظ گردید. نتایج نشان داد که با قطر ۲۰۰ میلی‌متر می‌توان ۴ شیر آتش‌نشانی را به طور همزمان برای تامین نیاز آتش‌نشانی به کار گرفت چون هنوز فشار در ایستگاه پمپاژ برابر ۶/۰۵ بار است. در صورت استفاده از لوله ۱۰۰ حداکثر می‌توان از ۳ شیر آتش‌نشانی برای اطفاء حریق استفاده کرد. تعداد شیر آتش‌نشانی بیشتر از این مقدار باعث فشار منفی در شیرهای آتش‌نشانی مربوطه شده و این نشانگر پاسخگو نبودن شبکه تحت این شرایط است.

۳-۴- شبیه‌سازی هیدرولیکی رینگ میانی در حالت تامین فشار به صورت پمپاژ

نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی در حالت ثقلی نشان داد که در شرایط موجود تنها با آگیری یک شیر آتش‌نشانی در هر یک از نقاط رینگ میانی، فشار در ایستگاه پمپاژ به زیر ۴ بار رسیده و بنابراین پمپ می‌بایست وارد مدار شود. با وارد

برابر با جدول ۳ در حالت افزایش دبی، فشار پمپاژ و فشار در دلوج از ۸۵/۹۶ و ۶۶ متر به ۸۳/۲۲ و ۵۷/۹۱ متر کاهش یافته است. به عبارت دیگر فشار پمپاژ و دلوج به ترتیب ۳/۲ و ۱۲/۲ درصد کاهش یافته است. در حالت کاهش دبی، مقادیر فشار پمپاژ و دلوج به اندازه ۶/۱ و ۱۵/۸ درصد افزایش یافته است.

ها می‌توان از دو پمپ استفاده کرد. با وجود دو پمپ دبی تامین شده از هر یک نزدیک به نصف شده و در نتیجه ارتفاع پمپاژ تولیدی زیاد می‌شود. شبیه‌سازی رینگ در حالت دو پمپ روشن نیز انجام گرفت که نتایج آن نیز در همین جدول گنجانده شده است. به منظور تحلیل حساسیت شبکه به تغییرپذیری‌های دبی، تقاضاهای مورد نیاز به اندازه ۱۰ درصد نسبت به حالت عادی افزایش و کاهش داده شد.

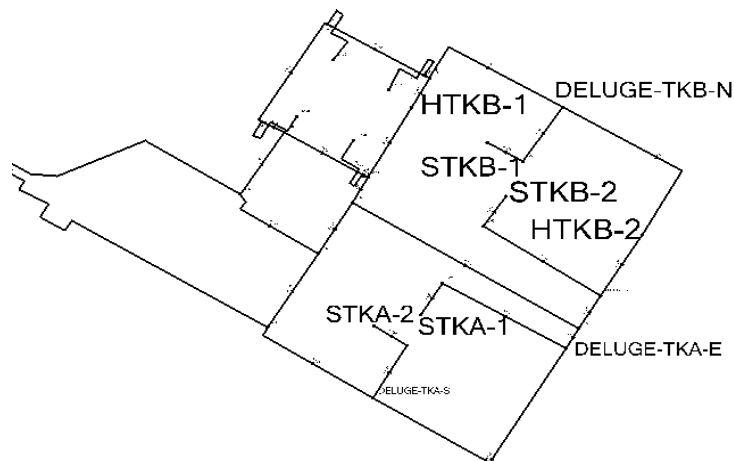


Fig. 4 Firefighting scenarios in floating roof tank TK3810B
 شکل ۴ پیش‌فرض آتش‌سوزی در مخزن با سقف شناور TK3810B

جدول ۳ نتایج مربوط به فشار و سرعت در نقاط مختلف

Table 3 Results related to pressure and velocity in different locations

Row	Path	Needed Demand	Number of active pumps	Pump Head (m)	Deluge head(m)	Floating roof tank head (m)	End pipe velocity(m/s)
1	Pump to tank B	Normal	1	85.96	66	41	3.93
2	Pump to tank A	Normal	1	85.96	65	38	3.93
3	Pump to tank B	Normal	2	104.52	86	61	3.93
4	Pump to tank A	Normal	2	104.38	85	58	3.93
5	Pump to tank B	Normal+10%	1	83.22	57.91	32.63	4.32
6	Pump to tank B	Normal-10%	1	91.20	76.42	52.79	3.54
7	Pump to tank A	Normal+10%	1	83.22	57.81	29.21	4.32
8	Pump to tank A	Normal-10%	1	91.20	76.35	50.43	3.54

و دبی مورد نیاز ۹۶۰ مترمکعب در ساعت است. ضریب هیزن ویلیامز لوله‌ها با توجه به جنس لوله پلی‌اتیلن ۱۳۰ در نظر گرفته شد. با توجه به مسیر نشان داده در شکل ۵ در این حالت کمترین فشار مربوط به بخش‌های شمالی

یکی دیگر از پیش‌فرض‌های مهم رینگ میانی مربوط به آتش‌سوزی در ناحیه‌های فرایندی است که در این حالت از ۸ شیر آتش‌نشانی و مانیتور برای اطفاء حریق استفاده می‌شود. دبی هر شیر آتش‌نشانی ۱۲۰ مترمکعب در ساعت

دوباره فشار پمپاژ به کمک پدال گاز پمپ دیزل از ۸/۵ به ۹/۵ و ۱۰ رسانده شد که در این زمان فوم بسیار مناسب از بالای مخزن‌ها ایجاد شد. در این مانور عملکرد مناسب سامانه جهت اطفای حریق مشاهده شد اما فشار در ایستگاه پمپاژ بالاتر از بیشینه مقدار توصیه شده ۱۰ بار بود.

۳-۶- بررسی میدانی آتش‌سوزی در مخزن‌های

استوانه‌ای با روشن بودن یک و دو پمپ الکتریکی

در این بررسی میدانی، عملکرد سامانه خنک‌کاری مخازن استوانه‌ای با روشن بودن یک و دو پمپ الکتریکی ارزیابی شد. در این پیش‌فرض چهار دلوج مخزن‌های استوانه‌ای همزمان کار می‌کرد. در آغاز فشار استاتیک ایستگاه پمپاژ میانی (ps2) و فشار استاتیک ناحیه‌های مخزن‌ها از روی دلوج‌های آنها خوانده شد. آنگاه چهار دلوج خنک‌کاری تحت فشار ثقلی راه‌اندازی شد و فشار در ps2 به ۲ بار رسید اما پمپ اول به صورت خودکار وارد مدار نشد. پمپ به صورت عملکرد دستی وارد مدار شد و فشار دلوج‌ها خوانده شد. در نهایت دو پمپ همزمان روشن شد. قطر لوله دلوج مخزن‌های کروی ۴ اینچ و استوانه‌ای ۶ اینچ بود. پس از انجام آزمایش مشخص شد که یک شیر آتش‌نشانی در ناحیه فرایندی برای شستشو نیز کار می‌کرد که جزو خطای آزمایش است. جزئیات مربوط به این مانور در جدول ۴ آورده شده است. در این بررسی مشخص شد که فشار سنج مربوط به دلوج شماره ۳ مخزن‌ها خراب بوده و برخی دیگر نیز در حین انجام مانور دارای نوسان بوده و خواندن آنها همراه با خطا است. همچنین فشار اندازه‌گیری شده در ایستگاه پمپاژ با وجود یک پمپ و دو پمپ برابر ۱۱ و ۱۲ بار بوده و این اعداد با کالانمای شرکت سازنده همخوانی ندارد. این مشکل می‌تواند ناشی از خطای فشارسنج، دقیق نبودن کالانمای شرکت سازنده یا کنشگر خوان نشانگر فشار باشد. ایستگاه پمپاژ به دو صورت خودکار و دستی در مدار بهره برداری قرار می‌گیرد که در این تحقیق مشخص شد که سامانه بهره برداری خودکار ایستگاه پمپاژ دارای مشکل بوده و می‌بایست تعمیر و راه‌اندازی دوباره شود.

رینگ میانی بوده و مقدار آن ۶۸ متر است. در نتیجه شبکه تحت این پیش‌فرض آتش‌سوزی مشکلی ندارد. تحلیل حساسیت نسبت به ضریب زبری لوله‌ها با توجه به وجود رسوب‌ها در شبکه و تست نامناسب شبکه در آغاز دوران بهره‌برداری انجام شد و مقدار آن به اندازه ۲۰ درصد افزایش یافت. افزایش زبری در رابطه هیزن ویلیامز (CHW) با کاهش مقدار آن از ۱۳۰ به ۱۰۴ انجام گرفت. در این حالت مقدار کمینه فشار در بخش شمالی رینگ از ۶۸ به ۶۶ متر کاهش یافت. با افزایش ۲۰ درصدی ضریب زبری در کل رینگ میانی، میانگین فشار به اندازه ۳/۵ درصد کاهش یافت.

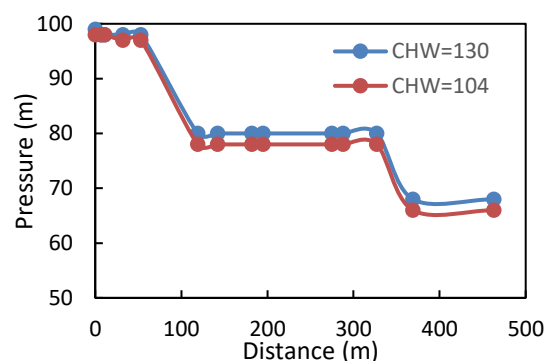


Fig. 5 pressure head in the direction of the pumping station to the north of middle ring

شکل ۵ مقادیر ارتفاع معادل فشار در مسیر ایستگاه پمپاژ تا بخش شمالی رینگ

۳-۵- بررسی میدانی آتش‌سوزی در مخزن‌های

استوانه‌ای با روشن بودن یک پمپ دیزل

برای بررسی میدانی سامانه ایستگاه فوم‌ساز و سامانه خنک‌کاری مخزن‌های استوانه‌ای یک مانور انجام گرفت. در این مانور با فرض آتش‌سوزی در یکی از مخزن‌های استوانه‌ای می‌بایست ایستگاه پمپاژ مخزن میانی و سامانه خنک‌کاری و فوم‌ساز مخازن استوانه‌ای وارد مدار گردند. ارتفاع کل مخزن‌ها ۲۱ متر است که در زمان مانور ۱۷ متر آن پر شده بود. در زمان بازشدن ۱۲ نازل فوم‌ساز (هر کدام از مخزن‌ها ۶ نازل فوم دارد)، فشار خروجی در ایستگاه پمپاژ ۱۱ بار خوانده شد. پس از باز کردن نازل‌های فوم‌ساز، چهار دلوج سامانه خنک‌کاری به کار انداخته شد و فشار ایستگاه پمپاژ به ۸/۵ بار رسید و در ورودی فوم‌ساز به ۷ بار رسید.

جدول ۴ نتایج مربوط به آتش‌سوزی مخزن‌های استوانه‌ای

Table 4 Results related to firefighting in floating roof tank

Row	Deluge and Hydrant	Static pressure(m)	Dynamic pressure-gravity(m)	Dynamic pressure- one electrical pump(bar)	Dynamic pressure- two electrical pump(bar)
1	Ps2	7.8-7.9	2	10-11	12
2	Deluge 3	7.4	2.1	7	7.2-7.6
3	Deluge 4	7.8	0	-	-
4	Deluge 5	7.4	2	6.2	6.6
5	Deluge 6	7.5-7.6	2	6.2	6.4-6.9
6	Deluge 7	7.3	2	8.4	8.9
7	Deluge 10	7.8	2	8.9	9.5
8	Deluge 9	7.8	2	9	9.5
9	113	-	-	-	10.5

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق رینگ میانی شبکه آب آتش‌نشانی پالایشگاه گاز ایلام به کمک نرم‌افزار شبیه‌سازی هیدرولیکی WaterGEMS آزمون و ارزیابی شد. بررسی اسناد و نقشه‌های مربوط به رینگ آب آتش‌نشانی نشان داد که در نقشه‌های مورد نظر برخی فراسنجه‌های مهم مانند عوارض منطقه، قطر، طول، جنس و فشار کاری لوله‌ها، مشخصات شیرهای قطع و وصل، موقعیت دقیق شیرهای آتش‌نشانی و دلوج‌ولوها معلوم نیست. بازدیدهای میدانی انجام گرفته نشان داد که برخی از شیرهای آتش‌نشانی دچار نارسایی‌هایی مانند نداشتن ویل و نشت است. برای هیچیک از رینگ‌های شبکه، شیر تخلیه پیش‌بینی نشده است. در برخی از نقاط رینگ تعداد شیر قطع و وصل کم در نظر گرفته شده است. در نتیجه در هنگام خرابی یکی از شیرهای آتش‌نشانی می‌بایست آب بخش زیادی از رینگ قطع گردد که به لحاظ عملیاتی مورد تایید واحد آتش‌نشانی نیست. پیش‌فرض‌های مختلف مربوط به رینگ میانی که شامل کارکرد همزمان چندین دلوج ولو و شیر آتش‌نشانی در ناحیه‌های مختلف است، شبیه‌سازی شد. تحلیل حساسیت نسبت به ضریب زبری لوله‌ها با توجه به وجود رسوب در شبکه و آزمایش نامناسب شبکه در آغاز دوران بهره‌برداری انجام شد. با افزایش ۲۰ درصدی ضریب زبری در کل رینگ میانی، میانگین فشار به اندازه ۳/۵ درصد کاهش یافت. به منظور تحلیل حساسیت شبکه به تغییرپذیری‌های دبی،

تقاضاهای مورد نیاز به اندازه ۱۰ درصد نسبت به حالت عادی افزایش و کاهش داده شد. در حالت افزایش دبی، فشار پمپاژ و دلوج به ترتیب ۳/۲ و ۱۲/۲ درصد کاهش یافت. در حالت کاهش دبی، مقادیر فشار پمپاژ و دلوج به اندازه ۶/۱ و ۱۵/۸ درصد افزایش یافت. نتایج تحقیق نشان‌دهنده عملکرد مناسب شبکه آب آتش‌نشانی بوده اما گاهی فشار ایجاد شده در ایستگاه پمپاژ بالاتر از مقادیر توصیه شده در طراحی بود. گرچه سامانه تاکنون مشکل خاصی از نظر کارکرد هیدرولیکی نداشته است ولی مقادیر سرعت در برخی از لوله‌ها نیز بالاتر از سرعت‌های مجاز توصیه شده در صنعت آب بوده که در درازمدت می‌تواند باعث عملکرد نامناسب آن شود.

۵- سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت‌های مالی شرکت پالایشگاه گاز ایلام انجام شده است. نویسندگان این مقاله از مدیریت پژوهش و کارشناسان واحد آتش‌نشانی که در راستای این پژوهش، صمیمانه همکاری و مشارکت داشته‌اند سپاسگزاری می‌کنند.

۶- منابع

Abdy Sayyed, M. A. H., Gupta, R. and Tanyimboh, T.T. (2014). Modeling pressure deficient water distribution networks in EPANET. *Procedia Engineering*, 89(1), 626 – 631.

- HIRBODAN EPC CO. (2001). Fire fighting pumps control philosophy. ILAM Gas Treating Plant.
- Jafari, R., Khanjani, M. and Esmaeilian, H. (2015). Pressure management and electric power production in water distribution system using pump as turbine. *Journal of AWWA*. 107(7), 351-363.
- Kanta, L., Zechman, E. and Brumbelow, K. (2011). Multiobjective evolutionary computation approach for redesigning water distribution systems to provide fire flows. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 138(2), 144-52.
- Mamizadeh, J. and Sharonizadeh, Sh. (2017). Application of modified complementary reservoir approach in analysis of water distribution networks under pressure-deficient conditions. *Urban Water Journal*. 14 (4), 386-393.
- Ministry of Energy. (2011). Design criteria of urban and rural water supply and distribution systems. no. 380-A. Bureau of Engineering and Technical Criteria for Water and Wastewater. (in Persian)
- Nasrabadi, M. and Parvareshrizi, A. (2013). Design of water supply networks. Noavar Publishing, Tehran (in Persian).
- Sargaonkar, A. and Islam, R. (2009). Application of GIS in water distribution system assessment. *J Environ Sci Eng*. 51(4), 321-334.
- Sharonizadeh, Sh., Mamizadeh, J. and Sarvarian, J. (2016). Comparison of solution methods for analyzing water distribution networks under pressure-deficient conditions. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. 65 (4), 330-341.
- Xiao, C., Li, B., He, G., Sun, J., Ping, J. and Wang, R. (2014). Fire flow capacity analysis based on hydraulic network model. *Proced Engin*. 89(1), 386-394.
- Zaji, A. and Barani, Gh. (2011). Optimization of the number and location of fire hydrants in the design of urban water supply networks. The 10th Hydraulic Conference, Iran Hydraulic Association., Guilan University, IRAN. (in Persian)
- Abzadeh, F. and JaliliGhazizadeh, M. (2009). Comparison of the fire design scheme of water distribution networks in Iran (No.117-3) with other countries. Eighth International Civil Engineering Congress., Shiraz University, IRAN. (in Persian).
- Ang, W. K. and Jowitt, P.W. (2006). Solution for water distribution systems under pressure-deficient conditions. *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, 132(3), 175-182.
- Asgaripour, T., Farati, M., Kazemi, A. and Marzban, M. (2018). Hydraulic modelling the fire network of a combined cycle power with the approach of evaluating and analyzing the performance of fire extinguishing systems. *Ioh*. 15 (3), 1-10. (in Persian)
- Babu, K. S. J. and Mohan, S. (2012). Extended period simulation for pressure-deficient water distribution network. *Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE*, 26(4), 498-505.
- Banazadeh ghomi, A., Barani, Gh. and Akbari, M. (2014). Optimization of the time schedule of water pumping to the reservoir of the water supply network. National Conference on Energy Consumption Optimization in Sciences and Engineering., Babol. IRAN (In Persian).
- Biareh, S., Mehdipour, A., Mohamadi, H., Rasolzadeh, A., Mohamadi, M. and Ershadi, R. (2016). Simulation and investigation of the water hammer phenomenon at the outlet of fire-fighting pumps of parsian refinery and providing a novel solution for controlling. The First International Conference on Chemistry, Chemistry and Petroleum Engineering., Shiraz, IRAN. (in Persian)
- Kang, D. and Lansey, K. E. (2010). Demand and roughness estimation in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 137(1), 20-30.
- Fontana, N., Giugni, M. and Portalano, D. (2012). Losses reduction and energy production in water-distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 138(3), 237-244.
- HIRBODAN EPC CO. (2000). Fire water system specification. ILAM Gas Treating Plant.