



Simulating the Occurrence of a Leak in the 22-inch Oil Pipeline and Comparing the Accuracy of Different Leak Detection Methods

Mohsen Shahabi^{1*}, Mohammad Ali Fallah²

¹ Senior Expert in Energy Systems Engineerin, Operation Manager, Semnan Oil Pump Station, Iran Oil Pipelines and Telecommunications Company

² Senior expert in energy conversion engineering, operations manager, Shahroud Oil Pump Station, Iran Oil Pipelines and Telecommunications Company

Received: 1 Sep 2023 Accepted: 4 Feb 2024

Abstract

In the upcoming study, the 175 kilometers oil products pipeline is simulated by Pipeline Studio software, the equipment needed to remove fluid from the pipe has been installed at different points of the pipeline, and a number of ten removal tests have been performed. In each test, the operational data related to the pipeline and other data are recorded and the results of each stage of the tests are compared with the outputs of the software model. In the following, two methods to identify the location of the leak in the pipeline including negative pressure waves and the intersection of the hydraulic gradient have been introduced and they have been used to calculate the location of the leak in the tests. The calculation results showed that both methods had acceptable accuracy in finding the leak location, but the comparison of the two methods showed that negative pressure waves had a better performance (11% error vs. 18%) in estimating the leak location. The high correspondence between the diagrams extracted from the software and the real conditions ensures that the Pipeline Studio software can be used not only in the pipeline design phase but also in the analysis of operational changes and its results could be help in a better understanding of pipeline. Keywords: leak detection in pipeline, negative pressure waves, hydraulic gradient line, oil transmission pipeline, pipeline simulate with Pipeline Studio.

Keyword: Leak detection, Negative Pressure Waves, Hydraulic Gradient Line, Oil Transmission, Pipeline Simulation.

* mohsenshabhi2@gmail.com

Please Cite This Article Using:

Shahabi, M., Fallah, M.A., "Simulating the Occurrence of a Leak in the 22-inch Oil Pipeline and Comparing the Accuracy of Different Leak Detection Methods", Journal of Farayandno – Vol. 18 – No. 84, pp. 99-112, In Persian, (2024).

شبیه‌سازی وقوع نشت در خط لوله انتقال فرآورده‌های نفتی و مقایسه دقت روش‌های مختلف نشت‌یابی

محسن شهابی^{1*}، محمدعلی فلاح²

¹ کارشناس ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، مسئول عملیات مرکز انتقال نفت سمنان، شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران
² کارشناس ارشد مهندسی تبدیل انرژی، مسئول عملیات مرکز انتقال نفت شاهرود، شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران

دریافت: 1402/06/10 پذیرش: 1402/11/15

چکیده

در مطالعه پیش رو یک قطعه از خط لوله انتقال فرآورده‌های نفتی به طول 175 کیلومتر توسط نرم‌افزار Pipeline Studio شبیه‌سازی شده است، در نقاط مختلف خط لوله تجهیزات مورد نیاز برای برداشت سیال از لوله نصب و تعداد ده تست برداشت از لوله انجام شده است. در هر تست داده‌های عملیاتی مربوط به خط لوله و سایر داده‌ها ثبت و نتایج هر مرحله از تست‌ها با خروجی‌های مدل نرم‌افزاری مقایسه شده است. در ادامه دو روش برای شناسایی موقعیت نشتی در خط لوله شامل امواج فشار منفی و تقاطع گرادیان هیدرولیک معرفی و از آن‌ها برای محاسبه موقعیت نشتی در تست‌ها استفاده شده است. نتایج محاسبات نشان داد هر دو روش دقت قابل قبولی در پیدا کردن موقعیت نشتی داشتند اما مقایسه دو روش نشان داد که امواج فشار منفی عملکرد بهتری (خطای 11٪ در مقابل 18٪) در تخمین موقعیت نشتی داشتند. مطابقت بالای نمودارهای استخراج شده از نرم‌افزار و شرایط واقعی این اطمینان را ایجاد می‌کند که از نرم‌افزار Pipeline Studio نه فقط در مرحله طراحی خط لوله بلکه در آنالیز تغییرات عملیاتی می‌توان استفاده کرده و از نتایج آن در درک بهتر جریان در خط لوله و سایر محاسبات بهره‌برد.

کلمات کلیدی: نشت‌یابی، امواج فشار منفی، خط گرادیان هیدرولیک، خط لوله انتقال نفت، Pipeline Studio.

* MohsenShahabi2@gmail.com

1- مقدمه

در کنار مزایای استفاده از خطوط لوله در مقایسه با سایر روش‌های حمل، احتمال بروز حوادث بحرانی در خطوط لوله بیشتر است، حوادث خط لوله می‌تواند منجر به خسارت‌های مالی و آلودگی شدید محیط زیست شود (شکل 1)، خرابی‌ها می‌تواند عمدی یا غیر عمدی (مانند خوردگی، برخورد ماشین‌آلات و ...) باشد. در مطالعات مختلف سهم هر کدام از عوامل خرابی خط لوله تفاوت دارد و فارغ از این اختلاف معمولاً دلایل خرابی خطوط لوله مشترک است، طول عمر زیاد، نصب نادرست، عیوب متریالی و همچنین ساخت و سازهای نزدیک حریم خطوط لوله و همجواری از جمله عوامل اصلی ایجاد نشتی به شمار می‌آیند [1]. با توجه به طولانی بودن خطوط لوله و تنوع دلایل خرابی عملاً نمی‌توان از وقوع نشت بطور کامل جلوگیری کرد، علاوه بر اینکه در برخی موارد سرقت از خط لوله نیز گزارش شده است. به همین علت است که نظارت بر خط لوله برای تشخیص به موقع نشت بسیار مهم است. تشخیص زود هنگام نشت امکان پاسخ سریع، توقف و تخلیه اضطراری خط را فراهم می‌سازد و از آسیب‌های جدی اجتماعی، زیست محیطی و تلفات انسانی جلوگیری می‌کند. تا امروزه تعیین محل نشت در کشور به روش محاسباتی تنها در شرایطی میسر بود که نشتی در حالت استاتیک (توقف) خط لوله انجام شود در غیر اینصورت از ترانس‌میتورهای دبی پرتابل برای محدود کردن قطعات خط لوله و کوچک کردن محدوده بازرسی استفاده می‌شد، در مطالعه پیش‌رو تست‌های تجربی واقعی مربوط به نشت از خط لوله توسط نرم‌افزار شبیه‌سازی شده و سپس از دو روش برای شناسایی موقعیت نشت استفاده شده و کارایی هر کدام از روش‌ها ارزیابی شده است. این روش‌ها می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های قبلی شود. برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار Pipeline Studio ورژن 4,4 استفاده شده است.



شکل 1- آلودگی محیط زیستی در اثر نشت نفت از خط لوله

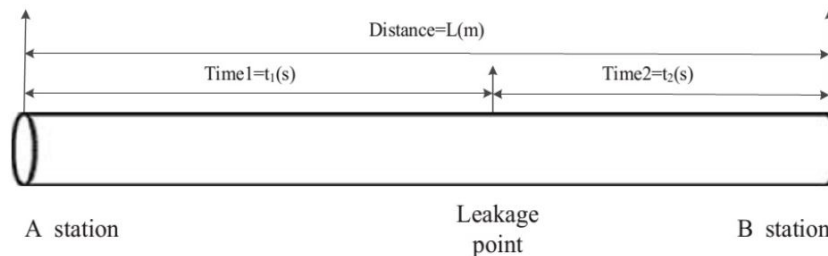
2- امواج فشار منفی

هنگامی که نشتی رخ می‌دهد، باعث تغییر فشار و سرعت جریان می‌شود که منجر به افت فشار لحظه‌ای و تغییر سرعت در طول خط لوله شده و بصورت افت فشار آنی رخ می‌دهد، یک موج فشار منفی در موقعیت نشتی ایجاد و موج را با سرعت معینی به سمت انتهای بالادست و پایین دست لوله منتشر می‌کند. با تجزیه و تحلیل از سیگنال این موج برای تعیین محل نشتی بر اساس اختلاف زمانی که امواج به انتهای خط لوله می‌رسند استفاده می‌شود، این روش به دلیل زمان پاسخ سریع و توانایی محلی سازی نشتی به طور گسترده در پایش خطوط لوله مورد استفاده قرار گرفته است، تعیین دقیق محل نشتی با استفاده از اختلاف زمانی در تشخیص موج فشار در دو انتهای خط لوله یکی

از چالش های مهم این روش است. به منظور کاهش این نقیصه، تلاش های زیادی برای بهبود مکانیسم های تشخیص نشت و محلی سازی با استفاده از NPW¹ انجام شده است [3].

3. محاسبه موقعیت نشتی با استفاده از NPW

مطابق شکل 2، برای خط لوله ای به طول $L(m)$ سرعت سیال $v(m/s)$ سرعت موج فشار منفی برابر $a(m/s)$ است، هنگامی که نشتی در نقطه X رخ دهد، زمانی که طول می کشد موج فشار منفی به مبدا لوله برسد t_1 و زمان رسیدن تا انتهای لوله t_2 است، بنابراین می توان نوشت [4]:



شکل 2- محاسبه نشتی

$$\Delta t = \frac{X}{a - v} - \frac{L - X}{a + v} \quad \text{رابطه (1): محاسبه محل نشت (X)}$$

L - طول خط لوله - m

a - سرعت موج فشار منفی m/sec

X - موقعیت نشتی - m

v - سرعت حرکت سیال m/sec

Δt - فاصله زمانی سرعت موج در مبدا و مقصد - ثانیه

برای محاسبه سرعت موج فشار منفی می توان نوشت [5]:

$$a = \sqrt{\frac{k/\rho}{1 + (k/E)(D/e)C}} \quad \text{رابطه (2): محاسبه سرعت موج فشار منفی}$$

k - مدول بالک - pa

ρ - چگالی - kg/m^3

C - فاکتور اصلاحی

E - مدول الاستیسیته - pa

e - ضخامت لوله

سرعت توصیه شده برای جریان سیال مایع در خط لوله در محدوده $1-2 m/sec$ است [6] که در مقایسه با سرعت صوت در خط لوله ناچیز است، لذا برای محاسبه موقعیت نشتی، رابطه (1) به صورت رابطه (3) بازنویسی و از سرعت متوسط استفاده شده است.

$$X = \frac{(\Delta t \times V_{ave}) + L}{2} \quad \text{رابطه (3): محاسبه محل نشت (X)}$$

Δt - فاصله زمانی سرعت موج در مبدا و مقصد - sec

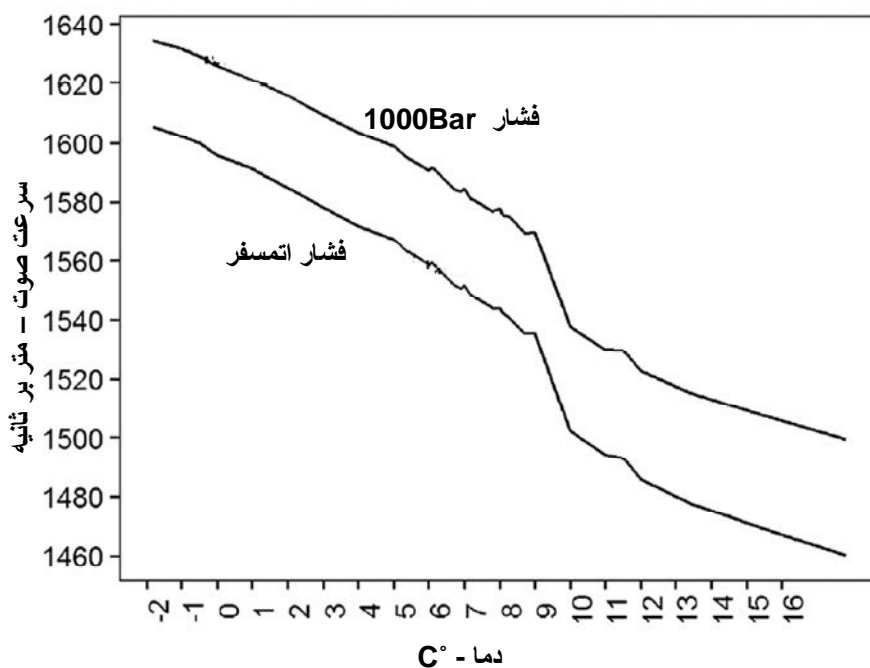
L - طول کل خط لوله - m

¹ NEGATIVE PRESSURE WAVE

V ave - سرعت متوسط موج فشار منفی - m/sec X - موقعیت نشتی - متر از مبدا

تعیین سرعت دقیق انتشار موج فشار منفی یکی از مشکلات این سیستم است و وجود خطا در محاسبه آن می‌تواند موجب خطای محاسباتی در تعیین نقطه نشتی شود. معمولاً سرعت موج فشار منفی را با سرعت صوت یکسان در نظر می‌گیرند.

سرعت صوت به مولفه های ذاتی سیال، دما و فشار نیز وابسته است. تغییرات سرعت صوت در یک نمونه نفت خام در اثر تغییر دما و فشار در شکل 3 نشان داده شده است [6]، با روش ابتکاری که در ادامه توضیح داده خواهد شد، می‌توان سرعت موج را تا حد قابل قبولی دقیق تعیین کرد.



شکل 3- سرعت صوت در نفت خام

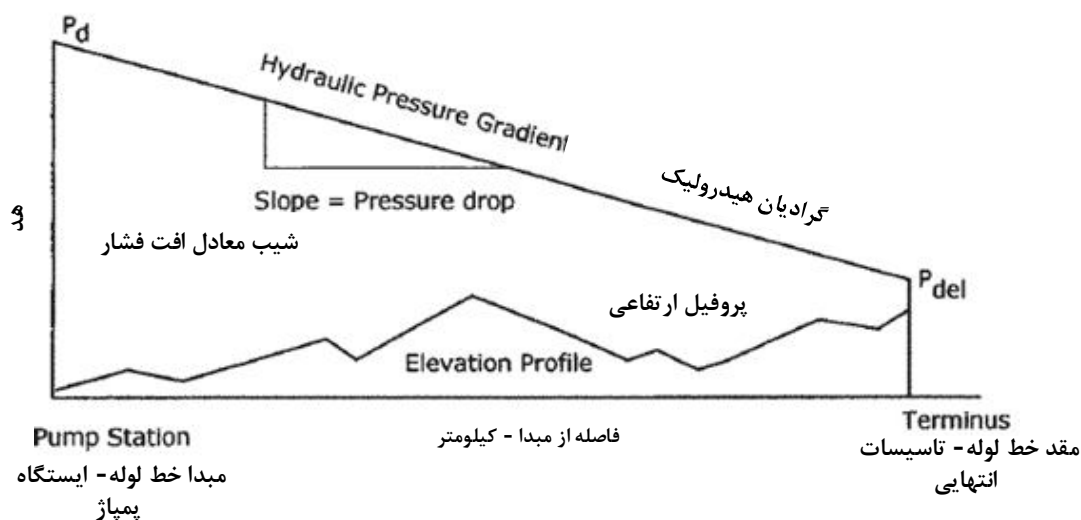
3-1- روش تجربی محاسبه سرعت موج فشار منفی در خطوط لوله انتقال نفت و فرآورده های نفتی
 با توجه به اینکه این مطالعه بر روی خط لوله 22 اینچ انتقال فرآورده های نفتی انجام شده است، لذا برای محاسبه سرعت موج فشار منفی، از روش ابتکاری بدین صورت استفاده شده است که، نقطه تنظیم شیر کنترل در مقصد خط لوله 10psi افزایش داده شده و با ثبت زمان رسیدن موج فشاری به مبدا خط سرعت آن محاسبه شده است (جدول 1)، در این جدول از تقسیم طول قطعه خط لوله بر اختلاف زمان ثبت شده، سرعت موج مقدار $1074 m/sec$ محاسبه شده است.

جدول 1- محاسبه سرعت موج فشار منفی در خط لوله

سرعت موج m/sec	اختلاف زمان (ثانیه)	تست تغییر نقطه تنظیم شیر کنترل
1074	162/5	

3-2-3- روش موقعیت یابی نشتی (سرقت) با استفاده از تقاطع خطوط گرادیان هیدرولیک
3-2-1- گرایان فشار هیدرولیک

فشار در خط لوله به علت اصطکاک به طور مداوم در حال افت است. تغییرات فشار به عنوان گرایان فشار هیدرولیک در خط لوله شناخته می‌شود و یک نمایش گرافیکی از تغییرات فشار در طول خط لوله است که به همراه مشخصات ارتفاعی خط لوله نشان داده می‌شود، با توجه به اینکه معمولاً ارتفاع بر حسب متر رسم می‌شود، نشان دادن فشار نیز بر حسب متر ستون سیال راحت‌تر بوده و خط گرایان بصورت گرایان هد رسم می‌شود [7] (شکل 4).



شکل 4- نمودار گرایان هیدرولیک در خط لوله [8]

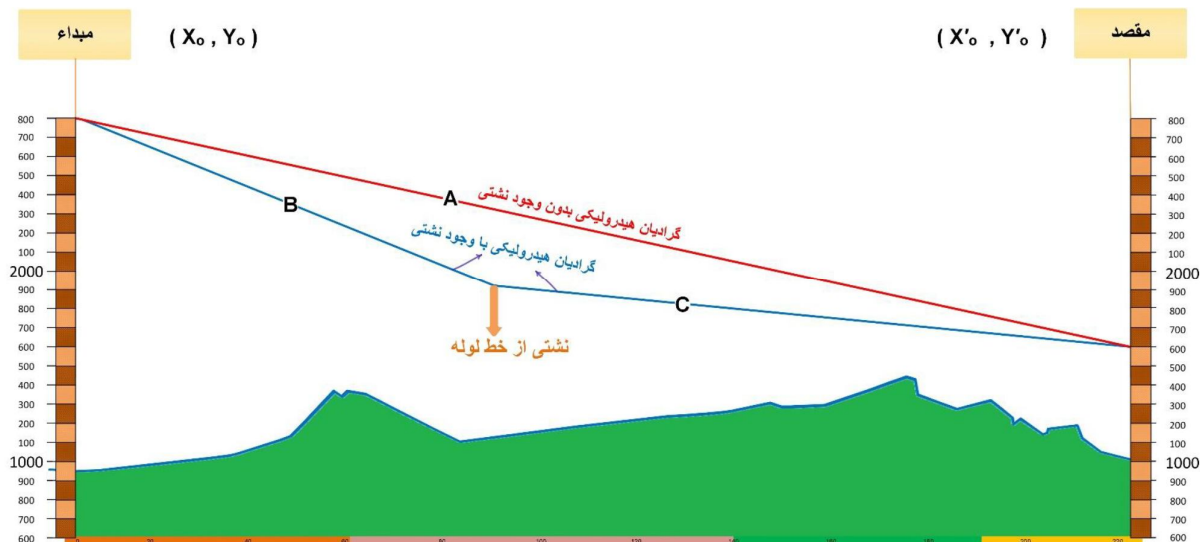
3-2-2- تقاطع خطوط گرایان هیدرولیک

در صورتی که یک نشتی در خط لوله انتقال مایع که در شرایط پایدار در حال کار است ایجاد شود، گرایان‌های هیدرولیکی به صورت «شکل 5». خواهند بود:

خط A: گرایان هیدرولیک خط سالم

خط B: گرایان هیدرولیک خط لوله بعد از نشتی، از ابتدای لوله تا محل نشتی

خط C: گرایان هیدرولیک خط لوله بعد از نشتی، از محل نشتی تا انتهای لوله



شکل 5- خط گرادینان هیدرولیک قبل و بعد از وقوع نشستی

برای پیدا کردن محل نشستی باید خطوط گرادینان هیدرولیکی B و C رسم و محل تلاقی آن‌ها محاسبه شود. برای نوشتن معادله خطوط B و C نیاز به محاسبه شیب آن‌ها است که از روابط 4 و 5، افت فشار یا همان شیب خطوط را می‌توان محاسبه و با داشتن مختصات نقاط مبدأ و مقصد (Y_0, Y'_0) معادله خطوط B و C را نوشت. در انتها با مساوی قرار دادن معادلات، مختصات X محل تلاقی محاسبه خواهد شد. در این مطالعه با توجه به شبیه‌سازی خط لوله، محاسبات مربوط به تقاطع خطوط هیدرولیک توسط نرم‌افزار محاسبه شده است، Pipeline Studio از رابطه کولبروک-وایت² برای محاسبه افت فشار در خط لوله استفاده می‌کند.

4- تست‌های واقعی برداشت از خط لوله

تعداد ده مرحله تست واقعی برداشت از خط لوله بدین صورت انجام شده که در نقاطی مشخص از خط لوله فعال، با نصب تجهیزات بر روی لوله مقداری از سیال موجود در لوله برداشت شده است، زمان برداشت و حجم برداشت و سایر داده‌های عملیاتی ثبت و برای هر تست، خط لوله و مراکز انتقال نفت توسط Pipeline Studio مدل شده و خروجی‌ها شامل تغییرات فشار و دبی در مراکز و زمان جابجایی امواج فشار منفی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. در انتها موقعیت جغرافیایی برداشت به عنوان عامل مجهول در نظر گرفته شده و با دو روش امواج فشار منفی و تقاطع خطوط گرادینان هیدرولیک موقعیت برداشت شناسایی شده است. برای خلاصه سازی، داده‌ها و نتایج شبیه‌سازی و جلوگیری از افزایش صفحات مقاله، یک نمونه از تست‌ها به تفصیل آورده شده و نتایج سایر تست‌ها فقط در بخش 5 ذکر شده است.

² Colebrook-White

4-1- تست شماره 1

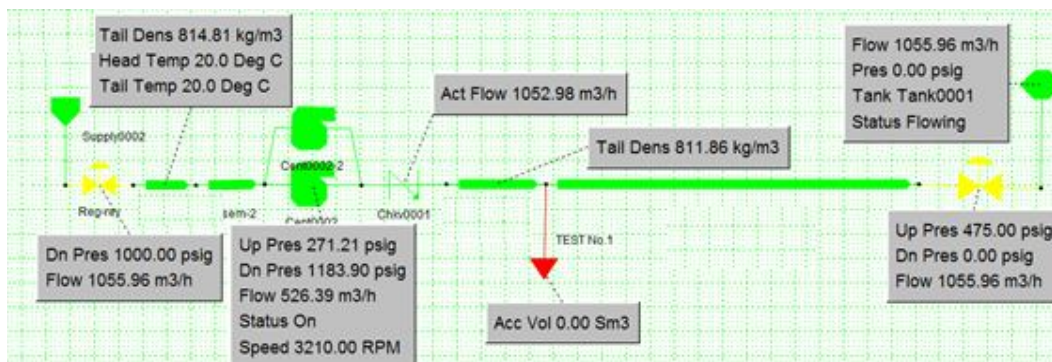
تست برداشت از خط در کیلومتر 37/1 انجام شده است. در این تست مقدار 4400Ltr نفت گاز از خط در مدت 240sec برداشت شده است.

جدول 2- جدول داده‌های تست شماره 1 - کنترل مبدا در حالت Manual و کنترل قصد Auto

موقعیت برداشت	شروع تست	فرآورده مبدا	زمان شروع تغییرات در مبدا
37/1	10:26:00	GO-Euro 0/818	10:26:35
تغییرات فشار در مبدا <i>psi</i>	تغییرات فلو مبدا <i>m³/hr</i>	فرآورده مقصد	زمان شروع تغییرات مقصد
از 1184/9 به 1166	1060 1076	GO-Euro 0/818	10:28:03
تغییرات فلو مقصد <i>m³/hr</i>	اختلاف زمانی شروع تست و مبدا	اختلاف زمانی شروع تست و مقصد	اختلاف زمانی مبدا و مقصد
از 1065 به 1025	35	123	88
تغییرات % کنترل والو مقصد	متوسط سرعت NPW هنگام تست برداشت از خط <i>m/s</i>		
از 32 به 28/7	1105		

4-1-1- شبیه‌سازی نرم‌افزاری

تست شماره 1 توسط نرم‌افزار مدل شده است. شرایط اولیه مبدا به صورت شماتیک در شکل 6 نشان داده شده است.

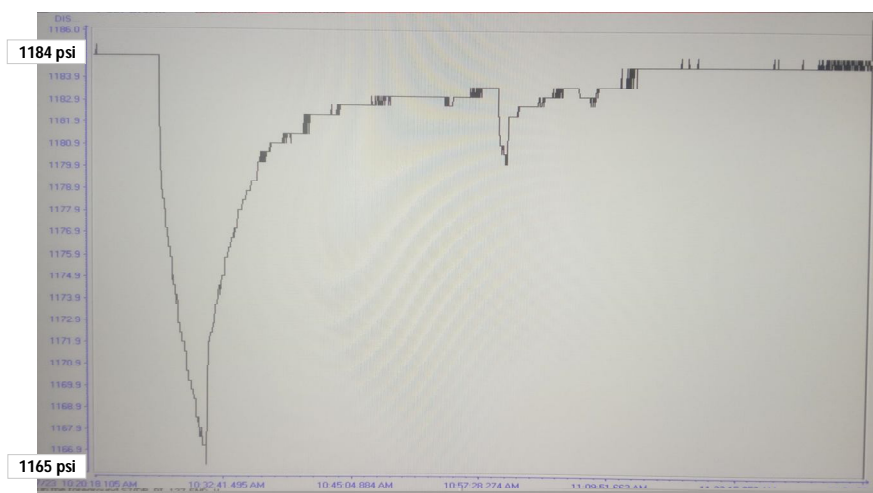


شکل 6- شبیه‌سازی‌سازی تست شماره 1 با نرم‌افزار Pipeline Studio

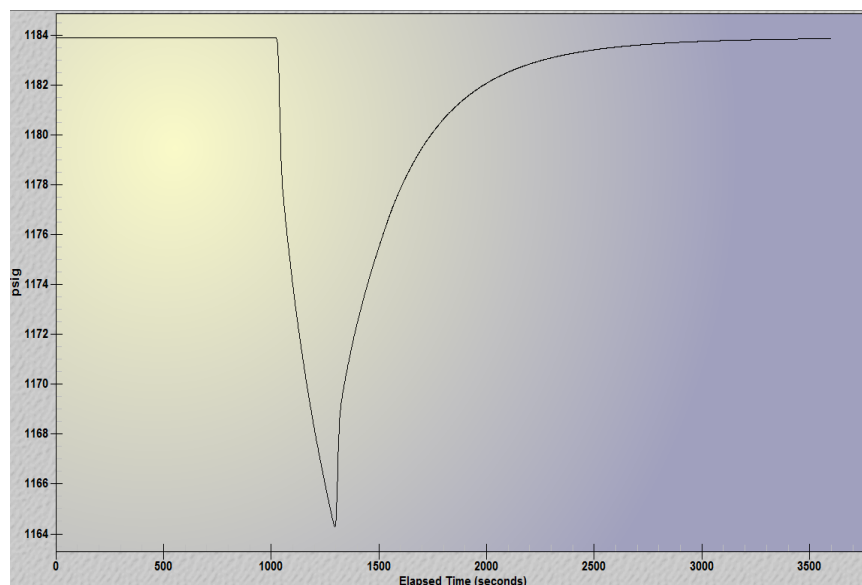
در نرم‌افزار یک نشستی از طریق باز کردن والو سایز 2 اینچ در کیلومتر 37/1 ایجاد و در مدت 275s مقدار 4600 لیتر نفت گاز از خط برداشت شده است.

2-1-4- مقایسه نموداری نتایج برداشت واقعی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی

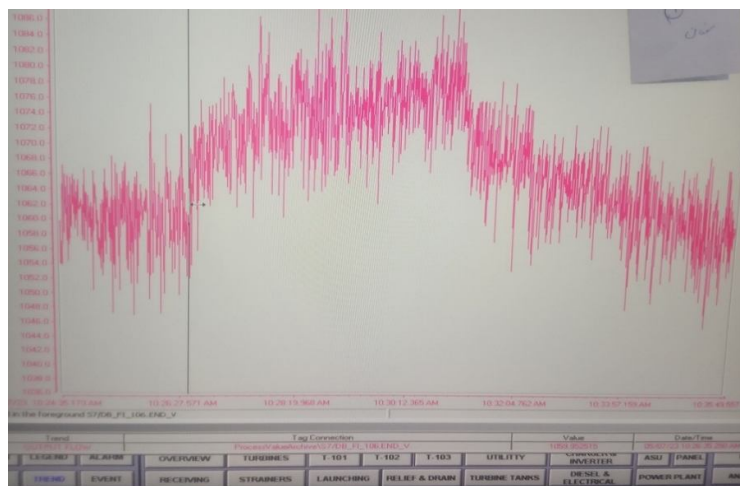
در شکل‌های 7 و 8 نمودارهای تغییرات فشار و در شکل‌های 9 و 10 تغییرات دبی در خروجی مرکز انتقال نفت مبدا در اثر برداشت واقعی از خط لوله و خروجی شبیه‌سازی در تست شماره 1 نشان داده شده است. با توجه به اینکه تست برداشت از خط لوله در موقعیتی مابین مرکز مبدا و مقصد قرار داشته، همانطور که انتظار می‌رود انجام تست موجب کاهش فشار خروجی و افزایش دبی مرکز انتقال نفت مبدا شده است، همچنین موجب کاهش دبی ورودی به مرکز مقصد شده است (شکل 11). مقایسه نمودارها و مطابقت آن‌ها حاکی از دقت قابل قبول شبیه‌سازی خط لوله مذکور است.



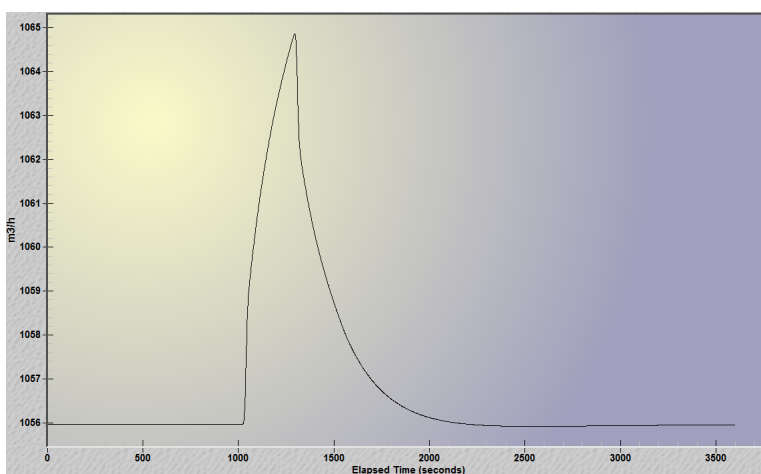
شکل 7- تغییرات فشار در خروجی ایستگاه مبدا - برداشت واقعی (محور افقی: زمان ، محور عمودی: فشار psi)



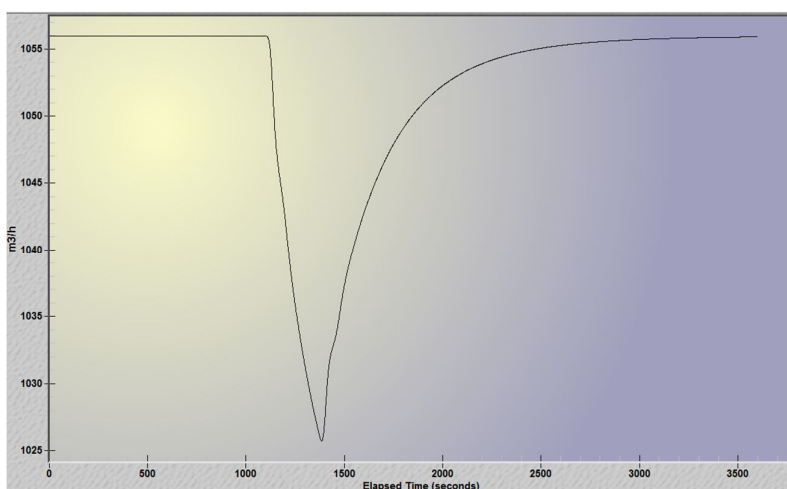
شکل 8- تغییرات فشار در خروجی مبدا- مدل نرم‌افزاری (محور افقی: زمان ، محور عمودی: فشار psi)



شکل 9- تغییرات دبی در خروجی مبدا- برداشت واقعی (محور افقی: زمان ، محور عمودی: دبی m^3/hr)



شکل 10- تغییرات دبی در خروجی مبدا- مدل نرم‌افزاری (محور افقی: زمان ، محور عمودی: دبی m^3/hr)

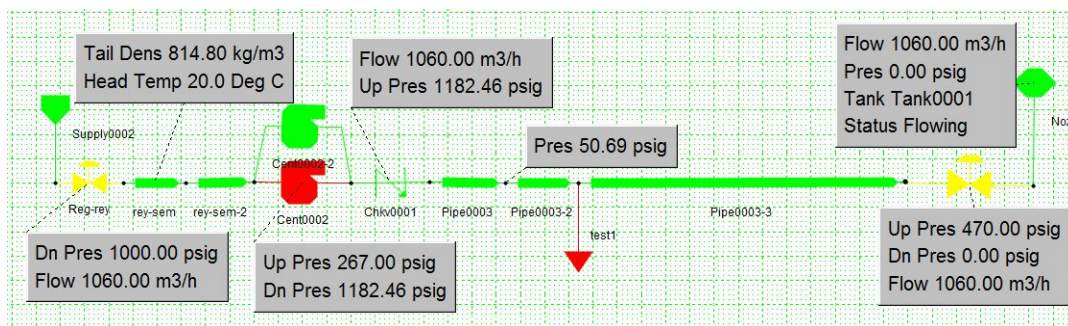


شکل 11- تغییرات دبی در ورودی مقصد- مدل نرم‌افزاری (محور افقی: زمان ، محور عمودی: دبی m^3/hr)

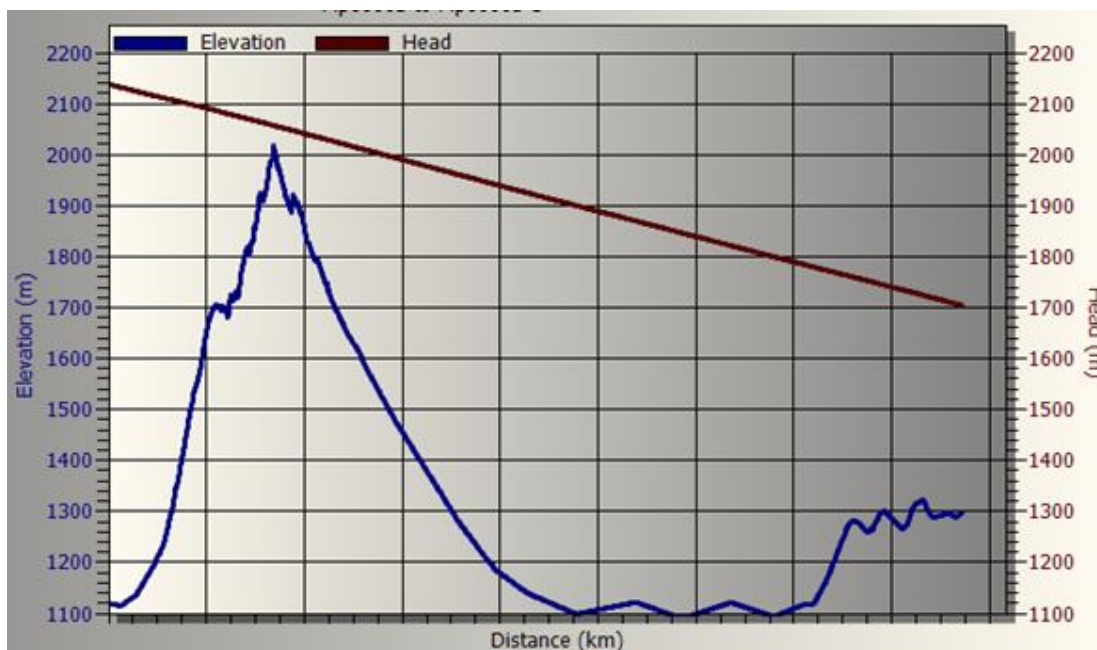
3-1-4- شناسایی موقعیت برداشت در تست شماره 1 با استفاده از امواج فشار منفی

تست شماره 1 را به عنوان مساله‌ای در نظر گرفته که در آن در اثر برداشت از خط لوله حاوی نفت گاز، موج فشار منفی در ساعت 10:26:35 به مرکز انتقال نفت مبدا و 88 ثانیه بعد در ساعت 10:28:03 به مرکز انتقال نفت مقصد رسیده است. محاسبات را با استفاده از داده‌های جدول 2 انجام و نقطه برداشت کیلومتر 40,8 محاسبه می‌شود.

4-1-4- شناسایی موقعیت برداشت در تست شماره 1 با استفاده از تقاطع خطوط گرادیان هیدرولیک
 تست شماره 1 را بعنوان مساله‌ای در نظر گرفته که در آن در اثر برداشت از خط لوله حاوی نفت گاز دبی مقصد از $1065 \text{ m}^3/\text{hr}$ به $1025 \text{ m}^3/\text{hr}$ کاهش یافته، فشار ورودی مقصد 475 psi و خروجی مبدا از 1185 psi به 1166 psi کاهش داشته و دبی مبدا از $1060 \text{ m}^3/\text{hr}$ به $1076 \text{ m}^3/\text{hr}$ افزایش یافته است. برای محاسبه محل برداشت در ابتدا خط با شرایط اولیه مشابه شکل 12 شبیه‌سازی شده است، خط گرادیان هیدرولیک در این شرایط عملیاتی مشابه شکل 13 است.

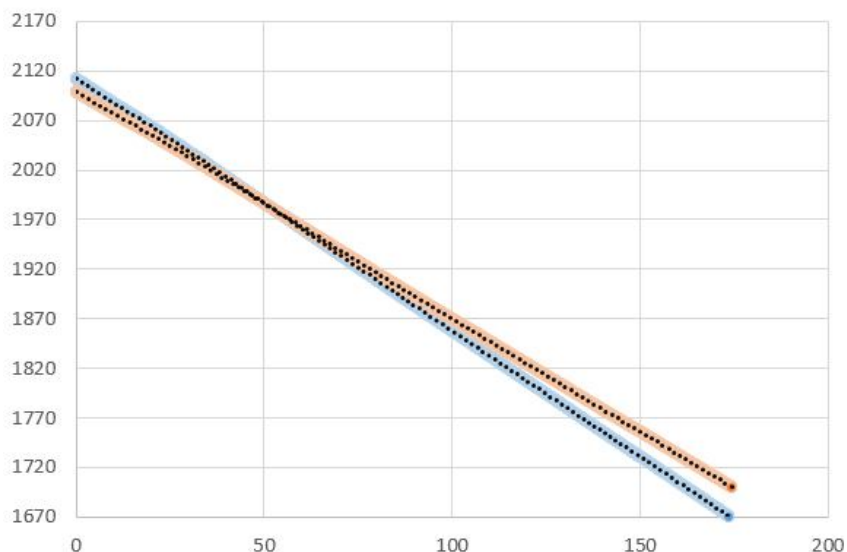


شکل 12- شرایط اولیه شبیه‌سازی برای تقاطع خطوط گرادیان هیدرولیک، تست شماره 1



شکل 13- گرادیان هیدرولیک در شرایط اولیه شبیه‌سازی برای تقاطع خطوط گرادیان هیدرولیک

با استفاده از مدل نرم‌افزاری توسط Pipeline Studio دو خط گرادیان هیدرولیک با توجه به دبی سیال در ایستگاه مبدا و مقصد در یک نمودار رسم شده است. در محدوده کیلومتر 51 دو خط گرادیان تقاطع دارند که محدوده مورد نظر مساله است (شکل 14).



شکل 14- انقطاع دو خط گرادیان هیدرولیک

5- مقایسه نتایج تست‌ها

در جدول 3 نتایج محاسبه موقعیت نشتی در هر ده تست انجام شده آورده شده است.

جدول 3- مقایسه روش های محاسبه موقعیت نشتی

شماره تست	نقطه انجام تست km	محاسبه نقطه برداشت Km		% اختلاف از محل برداشت	
		موج فشار منفی	گرادیان هیدرولیک	موج فشار منفی	گرادیان هیدرولیک
1	37/1	40/8	51	10	37
2	داده‌ها کافی نبود				
3	33/8	34/5	38	2	12
4	56/7	61/6	58	8	2
5	56/7	60/3	73	6	29
6	18/1	22/8	23	19	27
7	75/6	77/7	89	3	18
8	94/6	104	112	10	18
9	18/1	25/6	21	41	16
10	113/3	111/4	120	-2	6
متوسط خطا				10/7	18/3

در عین اینکه هر دو روش موج فشار منفی و انقطاع خطوط گرادیان هیدرولیک، به طور موثری محدوده نشت یا برداشت از خط لوله را تخمین زده اما مقایسه روش‌های موقعیت یابی نشتی نشان می‌دهد که با روش امواج فشار منفی، موقعیت نشت با دقت بهتری تخمین زده شده است، متوسط خطای محاسباتی در روش موج فشار منفی حدود 11% و روش تقاطع گرادیان هیدرولیک 18% بوده است. روش امواج فشار منفی نیاز به ثبت دقیق زمان تغییرات دبی یا فشار بعد از نشتی داشته و هر ثانیه خطای احتمالی در ثبت داده‌ها، حدود 1000 متر خطا در موقعیت نشتی ایجاد می‌کند. در روش انقطاع خطوط هیدرولیک نیاز به تست برداشت در طی زمانی است که شرایط لوله پایا شود و یکی از دلایل وجود خطا در این مطالعه عدم امکان برداشت طولانی مدت از لوله بوده است، بطوری که بعلت محدودیت‌های عملیاتی و ریسک‌های ایمنی، امکان برداشت طولانی مدت از خط لوله نبوده است. خلاصه مزایا و معایب دو روش مورد بحث در جدول 4 آورده شده است.

جدول 4- مقایسه دو روش نشت یابی

معایب	مزیت	روش نشت یابی
ایجاد خطا در اثر عدم ثبت دقیق تغییرات فشار یا دبی در ایستگاه‌های ابتدایی و انتهایی لوله	دقت بالاتر در مشخص کردن محل نشتی	امواج فشار منفی
دقت پایین تر در تخمین موقعیت نشتی	در هر زمان و به صورت آنلاین می‌توان از این روش جهت نشت‌یابی استفاده نمود	تقاطع خطوط گرادیان هیدرولیک

7- نتیجه گیری

مقایسه نتایج حاصل از برداشت واقعی از خط لوله و شبیه‌سازی نرم‌افزاری نشان از دقت خوب نرم‌افزار در شبیه‌سازی تغییرات عملیاتی در خط لوله می‌دهد، مطابقت بالای نمودارهای استخراج شده از نرم‌افزار و شرایط واقعی این اطمینان را ایجاد می‌کند که از نرم‌افزار Pipeline Studio نه فقط در مرحله طراحی خط لوله بلکه در آنالیز تغییرات عملیاتی می‌توان استفاده کرده و از نتایج آن در درک بهتر جریان در خط لوله و سایر محاسبات بهره برد. نتایج مطالعه نشان داد که به بهره‌گیری از هر کدام از روش‌های امواج فشار منفی و انقطاع خطوط گرادیان هیدرولیک، می‌توان موقعیت محل نشت (یا برداشت) از خط لوله را تخمین زد، استفاده از خط گرادیان هیدرولیک و ترکیب آن با شبیه‌سازی pipeline Studio، برای اولین بار در این مطالعه استفاده شده و نتایج قابل قبولی در پیدا کردن موقعیت نشت داشت. در تست‌های انجام شده روش امواج فشار منفی دقت محاسباتی بهتری داشته اما حساسیت زیادی به ثبت درست زمان ایجاد تغییرات بعد از نشت دارند و هر ثانیه خطا در ثبت زمان منجر به حدود 1000 متر خطا در محاسبه موقعیت می‌شود، دقت این روش در تست‌های انجام شده 10/7% بود. روش انقطاع خطوط گرادیان هیدرولیک نیز به درستی محدوده نشت (یا برداشت) را تخمین زده است، متوسط خطا در این روش 18/3% بود، که مقداری از آن به دلیل محدودیت در تست‌های برداشت از خط لوله بود که بایستی به دلایل عملیاتی و ریسک‌های ایمنی در زمان کوتاهی به پایان می‌رسید. این محدودیت موجب پایا نشدن خط لوله در زمان برداشت شده است.

8- منابع

- [1] مرتضی زادکرمی، مهدی شهبازیان، تشخیص نشتی در خط لوله با استفاده از تبدیل موجک و ویژگی‌های آماری همراه با کاربرد شبکه عصبی مصنوعی، ماهنامه مهندسی مکانیک مدرس (دانشگاه تربیت مدرس)، آذر 95.
- [2] Marcia Golmohamadi, Pipeline leak detection, Masters Theses, Student Theses and Dissertations, Scholars' Mine, Spring 2015.
- [3] Adegboye, M.A.; Fung, W.-K.; Karnik, A., Recent Advances in Pipeline Monitoring and Oil Leakage Detection Technologies: Principles and Approaches, *Sensors* 2019, 19, 2548.
- [4] Liu, Hong-Zhao Liu, Study on Pipeline Leaking Detection and Location Based on Intuitionistic Fuzzy Set Theory, *Technical Gazette* 23, 3, pp. 685-693, 2016
- [5] Wai-Keung Fung and Aditya Karnik, Recent Advances in Pipelines Monitoring and Oil Leakage Detection Technologies, *Principles and Approaches Mutiu Adesina Adegboye*, *Sensors* 2019, 19.
- [6] Serdar Sakinan and others, Accounting for seasonal and composition-related variability in acoustic, *Limnol. Oceanogr.*, 2019.
- [7] E. Shashi Menon, *Liquid Pipeline Hydraulics Book*, Second Edition, 2013.