



## A New Design Method for Anchor Blocks of Gas Transmission Pipelines

A. Vasseghi<sup>1\*</sup>, M. Kermani<sup>2</sup>, M. Arzani shahni<sup>3</sup>, M. Heydari khavas<sup>3</sup>

<sup>1</sup> International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Golder Associates Ltd, Montreal, Canada

<sup>3</sup> Iranian Gas Engineering and Development Company, Tehran, Iran

**ABSTRACT:** Natural gas transmission pipelines transport the natural gas at elevated temperatures and high internal pressures. The pipelines will expand when they are put into operation under the influence of increased internal pressure and temperature. The movement due to such expansion is significant for large diameter pipelines which operate at high pressure and elevated temperature. The pipeline needs to be restrained near compressor stations in order to prevent the transmission of such movement to equipment and facilities within the station. Concrete anchor blocks are commonly used to restrain the movement of buried pipelines on both sides of compressor stations. Anchor blocks for transmission pipelines are usually massive because of the high axial stress in the pipe which results in large thrust force. Current design procedures are usually based on providing an adequate margin of safety against block sliding, block overturning, and soil bearing pressure. This paper presents the results of an analytical study on the response of soil, pipeline, and anchor block at different operating pressure and temperatures. Nonlinear finite element analyses which include modeling of soil-pipe and soil-block interactions are carried out to evaluate the design procedures. The results indicate that the concept used in the current design procedures is fundamentally flawed because it is based on controlling forces rather than displacements. Based on the results of these analyses, a more rational design procedure that is based on controlling the displacements is introduced. The proposed design procedure results in a substantial reduction of the size of anchor blocks. .

### Review History:

Received: Aug. 24, 2019

Revised: Nov. 07, 2019

Accepted: 2019-12-01

Available Online: Dec. 10, 2019

### Keywords:

Anchor Block

Pipeline

Design Method

Finite Element Analysis

Soil-Structure Interaction

### 1- Introduction

Natural gas transmission pipelines transport the natural gas at elevated temperatures and high internal pressures. When the pipeline is put into operation, it tends to expand along its length due to internal pressure and temperature. In buried pipelines, the pipe movement due to such expansion is fully restrained by the surrounding soil except for a relatively small length near the ends where the axial displacements are significant for large gas transmission pipelines. The large axial displacement may cause serious damage to equipment and structures attached to the pipeline. To reduce the axial displacement, the pipeline is usually restrained near compressor stations by anchor blocks. Massive concrete anchor blocks are commonly used in gas transmission pipelines to resist the high thrust force resulting from the internal pressure and temperature Fig. 1.

The previous studies on the performance and design of anchor blocks include research by Al-Gahtani [1] who developed a simple procedure for the optimum design of anchor blocks. He used Rankine's theory [2] to compute the active and passive earth pressures on the anchor block. Friction forces on the sides, bottom, and top of the anchor block were taken into account by using a specific coefficient of friction between concrete and soil. Block sliding, block overturning, and soil bearing capacity were the main design

\*Corresponding author's email: vasseghi@iiees.ac.ir

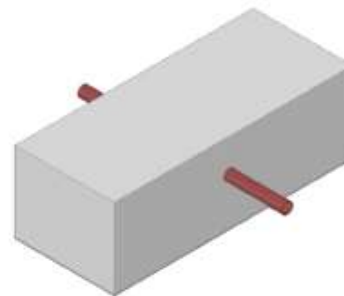


Fig. 1. A typical anchor block

parameters. Duncan and Mokwa [3] conducted two series of field experiments on a 900 mm x 1900 mm x 1100 mm anchor block. In this study, the calculated passive earth pressures from different theories were compared to the test results. The logarithmic spiral method with 3D correction gave the best estimate of the measured maximum passive force, and the Rankine method gave a reasonable estimate of the force. The performance of buried steel pipelines subjected to relative soil movements in the axial direction was investigated using full-scale pullout testing in a soil chamber by Wijewickreme et al. [4]. Test results were compared to the requirements of the design guidelines [5]. The results showed that the guidelines gave a very conservative estimate of friction force between dense sand and pipeline. For loose sand, the measured and the calculated friction forces were in very good agreement.



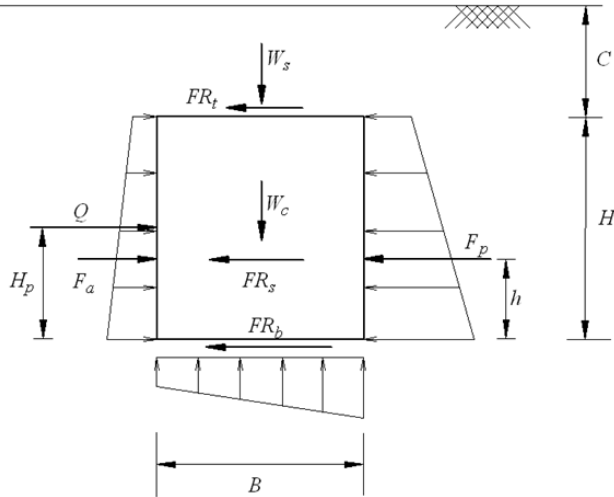


Fig. 2. Forces acting on an anchor block

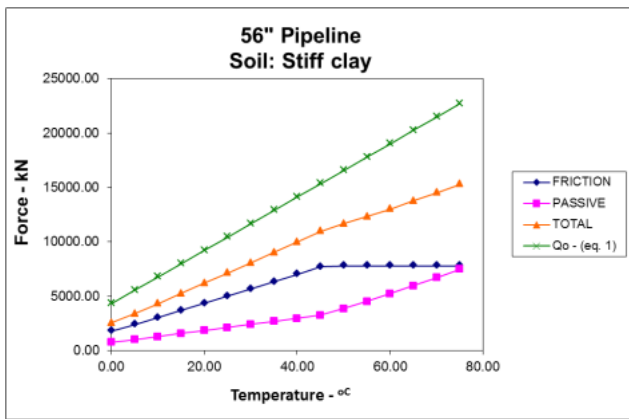


Fig. 3. Anchor block forces vs. temperature

The objective of this paper is to evaluate the response of the anchor block when the pipeline is operated under high internal pressure and temperature. The current design requirements for the anchor block are evaluated and a more rational design procedure is proposed.

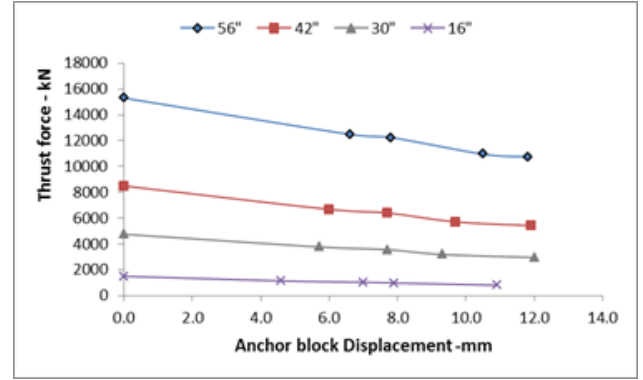


Fig. 4. Thrust force vs. anchor block displacement

### 2- Current Design Procedure

The current design procedure is based on the assumption that the anchor block fully restrains the pipeline and the pipeline thrust force resisted by the anchor block is calculated using the following equation [6].

$$Q_o = A[(0.5 - \nu)S_h + Ea(T_2 - T_1)] \quad (1)$$

Where  $Q_o$  = the thrust force,  $\nu$  = the Poisson's ratio,  $E$  = modulus of elasticity,  $A$  = cross-sectional area of the pipe,  $T_2$  = the maximum operating temperature,  $T_1$  = temperature at the time of installation, and  $S_h$  = hoop stress due to fluid pressure. The forces acting on the anchor block are shown in Fig. 2. The driving forces are the thrust force ( $Q$ ) and the force resulting from the active soil pressure ( $F_a$ ). Resisting forces are the force resulted from the soil passive pressure ( $F_p$ ); and soil friction at the bottom, top, and sides of the anchor block ( $FR_b$ ,  $FR_t$ ,  $FR_s$ ). The dimensions of the anchor block are calculated to provide adequate margins of safety against sliding and overturning of the anchor block as well as soil bearing failure.

### 3- Analytical Study

Nonlinear finite element analyses were carried out on 16", 30", 42", and 56" gas transmission pipelines in four types of soils i.e.: dense sand, loose sand, hard clay, and soft clay. The anchor blocks were designed by the current design

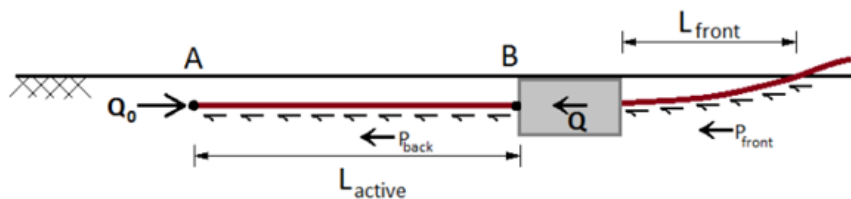


Fig. 5. Distribution of forces near the anchor block

procedures. Analyses included modeling of soil-pipe and soil-block interactions. The operating pressure was 1050 psi and the differential temperature varied between 0°C to 65°C. The force and displacement responses of the anchor blocks were evaluated at various operating conditions. Fig. 3 shows a typical force response of the anchor block. As shown in this figure, the friction force reaches its maximum value at 45°C temperature. Sliding of the anchor block beyond this temperature increases the rate of the passive soil resistance. However, the sum of the passive and friction forces (indicated as TOTAL in the figure) is less than the thrust force calculated in the current design procedure, i.e., Eq. (1). The reduction of the thrust force is attributed to the movement of the block anchor.

Fig. 4 shows the displacement response of the anchor blocks. It indicates that the total force resisted by the anchor block (i.e., the thrust force) decreases with increasing anchor block displacement. These results indicate that the concept used in the current design procedures is fundamentally flawed because it is based on controlling forces rather than displacements. Furthermore, the thrust force is significantly overestimated because it is based on a fully restrained anchor.

#### 4- New Design Method

A new procedure for the design of anchor blocks which is based on controlling the displacements is proposed. The maximum allowable anchor block displacement for typical pipeline configurations within compressor stations in Iran was 20 mm [7]. In the proposed design procedure, it is assumed that the anchor block would be displaced 20 mm and the thrust force acting on the anchor block ( $Q$ ) is evaluated based on this displacement (Fig. 5). Empirical formulas are

developed to calculate the actual thrust force on the anchor block. This force is considerably less than the thrust force evaluated in the current design procedure ( $Q_o$ ) and thus, The proposed procedure results in a substantial reduction of the size of anchor blocks.

#### 5- Conclusions

A new procedure for the design of anchor blocks is proposed. The proposed design procedure results in a substantial reduction of the size of anchor blocks.

#### 6- References

- [1] Al-Gahtani, H. J. "Optimum design of buried pipeline block anchors", *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 14(4), pp.190-193, (2009).
- [2] Rankine, W. "On the stability of loose earth", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Vol. 147, (1857).
- [3] Duncan, J. M., & Mokwa, R. L. "Passive earth pressures: theories and tests", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(3), pp.248-257, (2001).
- [4] Wijewickreme, D., Karimian, H., & Honegger, D. "Response of buried steel pipelines subjected to relative axial soil movement", *Canadian Geotechnical Journal*, 46(7), pp.735-752, (2009).
- [5] ALA (American Lifelines Alliance). "Guidelines for the design of buried steel pipe", Reston, VA. (2001).
- [6] Peng, L. C. "Stress analysis methods for underground pipelines", *Pipe Line Industry*, 47(5), pp.65-74, (1978).
- [7] Vasseghi A. "Final research report on optimum design of anchor blocks", Iranian Gas Engineering and Development Company, (2013), (in Persian)

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

A. Vasseghi, M. Kermani, M. Arzani shahni, M. Heydari khavas. A New Design Method for Anchor Blocks of Gas Transmission Pipelines, Amirkabir J. Civil Eng., 53(4)(2021): 329-332.

DOI: [10.22060/ceej.2019.16953.6406](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.16953.6406)







## ارائه یک شیوه جدید برای طراحی بلوک مهار خطوط لوله انتقال گاز

اکبر واثقی<sup>۱\*</sup>، محمد کرمانی<sup>۲</sup>، محمد ارزانی شهینی<sup>۳</sup>، محمد حیدری خواص<sup>۳</sup>

۱- پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

۲- شرکت مهندسی گلدر، مونترال، کانادا

۳- شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران، تهران، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۰۲

بازنگری: ۱۳۹۸/۰۸/۱۶

پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۰

ارائه آنلاین: ۱۳۹۸/۰۹/۱۹

### کلمات کلیدی:

بلوک مهار

خط لوله

روش طراحی

تحلیل اجزاء محدود

اندرکنش خاک و سازه.

خلاصه: یکی خطوط انتقال گاز در زمان بهره برداری تحت تاثیر افزایش دما و فشار منبسط می گردند. حرکت ناشی از این انبساط، برای لوله های قطر خطوط انتقال گاز قابل ملاحظه است. این لوله ها باید در مجاورت تجهیزات ایستگاه های تقویت فشار مهار شوند تا از آسیب به این تجهیزات جلوگیری شود. معمولاً برای مهار حرکت خطوط لوله مدفون در نزدیکی ایستگاه های تقویت فشار از بلوک های حجیم بتنی که بلوک مهار نامیده می شوند استفاده می گردد. در این تحقیق رفتار بلوک های مهار خطوط انتقال گاز برای چهار سایز لوله (۱۶ اینچ تا ۵۶ اینچ) و در چهار نوع خاک مورد مطالعه قرار گرفته است. این مطالعه با مدل سازی بلوک مهار، خط لوله و خاک اطراف و انجام تحلیل های استاتیکی غیر خطی با لحاظ نمودن تغییر فشار و دما در هنگام راه اندازی و بهره برداری انجام شده است. نتایج این تحلیل ها نشان می دهد که نیروی محوری وارد بر بلوک مهار به میزان قابل توجهی از نیرویی که از روابط کلاسیک محاسبه می شود کمتر است. بر اساس نتایج این تحلیل ها روش جدیدی برای طراحی بلوک مهار تدوین شده است که در آن نیروی محوری خط لوله بر اساس حداکثر جابه جایی مجاز بلوک مهار محاسبه می شود. با استفاده از این روش می توان ابعاد بلوک مهار را به میزان قابل توجهی نسبت به روش متداول طراحی کاهش داد.

### ۱- مقدمه

خطوط لوله انتقال گاز معمولاً به صورت مدفون اجرا می شوند و گاز را در فشار و حرارت بالا منتقل می کنند. این خطوط لوله در زمان بهره برداری تحت تاثیر افزایش فشار و دما منبسط می گردند. جابه جایی طولی ناشی از این انبساط در انتهای خط لوله و در حوالی ایستگاه های تقویت و تقلیل فشار، برای لوله های قطر انتقال گاز قابل ملاحظه است. خطوط لوله انتقال گاز باید در نزدیکی این ایستگاهها مهار شوند تا از آسیب به تجهیزات ایستگاه جلوگیری شود. معمولاً برای مهار خطوط لوله از قطعات بتنی که به صورت بلوکهای مکعب مستطیل در پیرامون لوله اجرا می شوند (شکل ۱) استفاده می گردد. با اجرای بلوک مهار، نیروی محوری<sup>۱</sup> ناشی از انبساط خط لوله ابتدا

1 Thrust force

\* نویسنده عهده دار مکاتبات: vasseghi@iiees.ac.ir

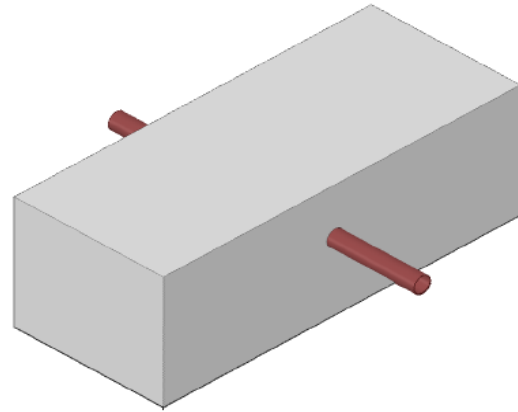
به بلوک مهار و سپس به خاک اطراف آن منتقل می گردد. نیروی محوری خطوط لوله انتقال گاز به دلیل فشار و حرارت نسبتاً بالا در زمان بهره برداری، مقدار قابل توجهی می باشد و این نیرو با افزایش قطر لوله افزایش می یابد. انتقال این نیرو از بلوک مهار به خاک اطراف آن از طریق اصطکاک بین بلوک مهار و خاک و همچنین نیروی مقاوم خاک<sup>۲</sup> انجام می شود. لذا وزن و ابعاد بلوک مهار، پارامترهای اصلی طراحی بلوک مهار برای انتقال ایمن این نیرو به خاک اطراف بلوک مهار هستند. به علت بزرگی نیروی محوری، ابعاد بلوک مهار نسبت به قطر لوله به ویژه در خاک های سست و نرم بسیار بیشتر است. بلوک های مهار خطوط انتقال گاز عموماً در محدوده خارج از شهر احداث می شوند و با توجه به حجم نسبتاً زیاد بتن ریزی، هزینه اجرای آن ها مبالغ قابل توجهی است.

2 Soil passive resistance

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس <https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode> دیدن فرمائید.



مطالعات محدودی در رابطه با تحلیل و طراحی بلوکهای مهار انجام شده است. پنگ در سال ۱۹۷۸ میلادی [۱] مطالعاتی بر روی خطوط لوله نفت و گاز انجام داد. در این مطالعات، تنش طولی و تنش غشائی لوله<sup>۲</sup> تحت اثر فشار سیال و حرارت و تغییر مکان ناشی از آن محاسبه شده است. همچنین، استفاده از بلوک مهار به عنوان راه حل جلوگیری از انتقال تغییر مکان به تأسیسات مطرح شده است. جهت طراحی بلوک مهار و محاسبه نیروهای وارد بر آن، فرض شده است که بلوک مهار بطور کامل لوله را مهار می کند و از هر گونه تغییر مکان ممانعت میکند.



شکل ۱. بلوک مهار خط لوله انتقال گاز

Fig. 1. A typical anchor block for gas transmission pipeline

دانکن و موکوا در سال ۲۰۰۱ میلادی [۲] برای بررسی

رفتار بلوک مهار در برابر فشار مقاوم خاک<sup>۳</sup>، دو سری آزمایش بر روی یک نمونه بلوک مهار با ابعاد ۰/۹۱ متر طول، ۱/۹۲ متر عرض و ۱/۰۷ متر ارتفاع انجام دادند. در این تحقیق ابتدا بلوک مهار در مجاورت زمین طبیعی (رس ماسه دار و لای ماسه دار سخت) و سپس در مجاورت خاکریز شن و ماسه ای متراکم مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاصل از این آزمایشها که به صورت نمودار نیرو- تغییر مکان ارائه شده، با مقادیر حاصل از تئوریهای رایج محاسبه ی فشار مقاوم خاک مقایسه شده اند.

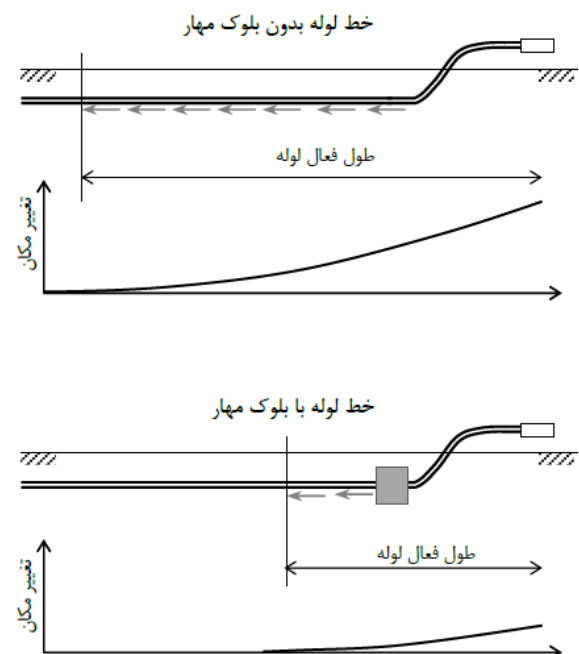
ایریزیم و همکاران در سال ۲۰۰۷ میلادی [۳] مطالعاتی

بر روی یک نمونه واقعی بلوک مهار که دچار نشست و چرخش شده بود، انجام دادند. بعد از احداث بلوک مهار بر روی خط لوله ای به قطر لوله ۳۲ اینچ، رانش زمین و نشست تحکیمی خاک باعث چرخش بلوک و خم شدن لوله شده بود. برای این خط لوله مطالعاتی شامل آنالیز پایداری شیب، آنالیز نشست تحکیمی و آنالیز تنش- تغییر شکل خاک انجام شد. جهت بهسازی، ارتفاع خاکریز مجاور بلوک مهار کاهش داده شد و ۸ عدد شمع جهت مقابله با نشست تحکیمی خاک در زیر بلوک مهار تعبیه گردید.

القطنی در سال ۲۰۰۹ میلادی [۴] روشی برای طراحی

بهینه بلوک ارائه نمود. معیار طراحی در این مطالعه همانند روش رایج طراحی، کنترل بلوک مهار در برابر واژگونی، لغزش و گسیختگی خاک بستر میباشد. نیروهای محرک وارد بر بلوک مهار، شامل نیروی

در خطوط لوله مدفون، بخش اعظم لوله توسط خاک مقید میشود و فقط طول نسبتاً کوتاهی در انتهای خط لوله تحت اثر فشار و حرارت جابجا می شود که طول فعال<sup>۱</sup> نامیده می شود. شکل ۲ منحنی تغییر مکان محوری خط لوله را در نزدیکی ایستگاه تقویت فشار نشان می دهد. در صورت به کارگیری بلوک مهار، طول فعال و تغییر مکان انتهای خط لوله کاهش مییابد. در واقع هدف از اجرای بلوک مهار کنترل تغییر مکان انتهای خط و نقاط اتصال به انشعابات خط لوله می باشد.



شکل ۲. تغییر مکان محوری خط لوله در نزدیکی ایستگاه تقویت فشار  
Fig. 2. Axial displacement of pipeline near compressor station

2 Pipe hoop stress  
3 Passive soil pressure

1 Active length

تدوین شده است.

## ۲- روش متداول طراحی بلوک مهار

در روش متداول طراحی بلوک‌های مهار، ابتدا با استفاده از روابط مکانیک جامدات، نیروی محوری خط لوله به دست می‌آید. سپس با به کارگیری روابط مکانیک خاک، نیروهای محرک و مقاوم وارد بر بلوک از طرف خاک محاسبه میگردد. نهایتاً ابعاد بلوک بگونه ای تعیین می‌گردد که شرایط ذیل ارضا گردد.

- حداقل ضریب اطمینان پایداری بلوک در برابر لغزش تأمین شود،
- حداقل ضریب اطمینان پایداری بلوک در برابر واژگونی تأمین شود،
- حداکثر تنش در خاک زیر بلوک از مقاومت مجاز خاک تجاوز نکند،
- حداقل تنش در خاک زیر بلوک بزرگتر از صفر باشد.

در این روش نیروی محوری خط لوله با فرض عدم جابه‌جایی و ثابت ماندن بلوک مهار با استفاده از رابطه‌ی زیر [۱] محاسبه می‌گردد.

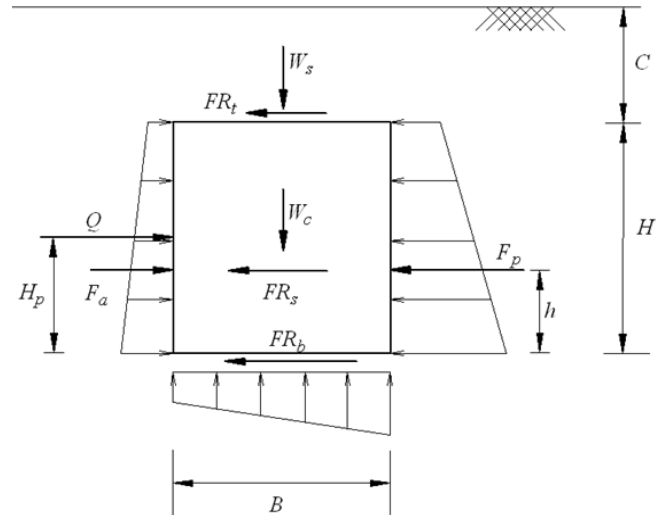
$$Q_o = A[(0.5 - \nu)S_h + E\alpha(T_2 - T_1)] \quad (1)$$

که در آن  $A$  سطح مقطع لوله،  $\alpha$  ضریب انبساط طولی لوله،  $\nu$  ضریب پواسون<sup>۴</sup>،  $S_h$  تنش غشائی<sup>۵</sup>،  $E$  مدول الاستیسیته لوله،  $T_1$  دما در هنگام نصب و  $T_2$  دمای حداکثر در هنگام بهره‌برداری است. میزان تنش غشائی از رابطه‌ی کلاسیک مکانیک (رابطه ۲) به دست می‌آید که در آن،  $P$  فشار سیال داخل لوله،  $D$  قطر لوله و  $t$  ضخامت آن است:

$$S_h = \frac{PD}{2t} \quad (2)$$

## ۱-۱- نیروهای وارد بر بلوک مهار

شکل ۳ نیروهای وارد بر بلوک مهار را نشان می‌دهد. در این شکل علاوه بر وزن خاک و بلوک و عکس العمل بستر، نیروی محوری خط لوله<sup>۶</sup> ( $Q_o$ )، نیروهای ناشی از فشار محرک و مقاوم خاک ( $F_a$  و  $F_p$ )، و نیروهای مقاوم ناشی از اصطکاک ( $FR_s$ ،  $FR_t$ ،  $FR_b$ ) نشان داده شده اند. بر اساس تئوری رانکین [۹]، نیروهای محرک و مقاوم خاک با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود.



شکل ۳. نیروهای وارد بر بلوک مهار

Fig. 3. Forces acting on an anchor block

محوری لوله<sup>۱</sup> و نیروی ناشی از فشار محرک خاک<sup>۲</sup> در نظر گرفته شده است. نیروهای مقاوم شامل نیروی ناشی از فشار مقاوم خاک<sup>۳</sup> و نیروی اصطکاک بین خاک و بلوک مهار فرض شده است. در این مطالعه با متغیر در نظر گرفتن طول، عرض و ارتفاع بلوک، روشی برای طرح بهینه بلوک مهار با هدف کاهش حجم بلوک مهار پیشنهاد شده است. در رابطه با تحلیل و طراحی بلوک‌های مهار چند مطالعه موردی دیگر [۸-۵] نیز انجام شده است. در یکی از این مطالعات [۸] رفتار بلوک مهار یک خط لوله انتقال نفت در نزدیکی ایستگاه تقویت فشار با استفاده از تجهیزات ابزار دقیق در زمان بهره‌برداری مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه فشار داخلی و درجه حرارت سیال به همراه تنش و کرنش لوله و جابه‌جایی بلوک مهار در شرایط بهره‌برداری متفاوت به مدت سه ماه بررسی شده اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کاهش ابعاد بلوک مهار بدون ایجاد مشکل در زمان بهره‌برداری امکان پذیر می‌باشد.

با توجه به حجم قابل توجه بلوک های مهار و تعداد زیاد آنها در خطوط انتقال گاز و هزینه نسبتاً زیاد اجرای آنها، کاهش ابعاد بلوک مهار با استفاده از روشی مناسب برای طراحی بلوک مهار ضروری می‌باشد. در این تحقیق مطالعات تحلیلی جامعی به منظور شناخت رفتار و بررسی نیروهای وارد بر بلوک مهار انجام شده است و براساس نتایج این مطالعات روش جدیدی برای طراحی بلوک مهار

4 Poisson's ratio  
5 Hoop stress  
6 Thrust force

1 Thrust force  
2 Active soil pressure  
3 Passive soil pressure

جدول ۲. مشخصات بلوک مهار

Table 2. Anchor block dimensions

حجم بلوک (m <sup>3</sup> )	ابعاد بلوک مهار * (W×B×H) (m)	نیروی محوری Q <sub>0</sub> (ton)	قطر لوله (in.)	نوع خاک
۶۹۶	۱۸/۲ × ۹/۱ × ۴/۲	۱۵۵۴	۵۶	۱
۳۶۳	۱۴/۴ × ۷/۲ × ۳/۵	۸۶۳	۴۲	۱
۱۹۵	۱۱/۴ × ۵/۷ × ۳	۴۸۱	۳۰	۱
۵۲	۶/۷ × ۳/۴ × ۲/۳	۱۵۰	۱۶	۱
۵۶۵	۱۶/۶ × ۸/۳ × ۴/۱	۱۵۵۴	۵۶	۲
۲۵۴	۱۲/۴ × ۶/۲ × ۳/۳	۸۶۳	۴۲	۲
۱۱۱	۹/۱ × ۴/۵ × ۲/۷	۴۸۱	۳۰	۲
۲۴	۴/۵ × ۲/۷ × ۲	۱۵۰	۱۶	۲
۲۹۷۵	۳۷/۲ × ۱۸/۶ × ۴/۳	۱۵۵۴	۵۶	۳
۱۵۱۷	۲۷/۲ × ۱۳/۶ × ۴/۱	۸۶۳	۴۲	۳
۷۵۶	۱۹/۹ × ۱۰ × ۳/۸	۴۸۱	۳۰	۳
۱۸۵	۱۰/۷ × ۵/۴ × ۳/۲	۱۵۰	۱۶	۳
۳۴۵۰	۳۹/۶ × ۱۹/۸ × ۴/۴	۱۵۵۴	۵۶	۴
۱۶۹۴	۲۸/۴ × ۱۴/۲ × ۴/۲	۸۶۳	۴۲	۴
۷۲۸	۲۰/۴ × ۱۰/۲ × ۳/۵	۴۸۱	۳۰	۴
۱۸۰	۱۰/۵ × ۵/۲ × ۳/۳	۱۵۰	۱۶	۴

\* عرض بلوک (بعد بلوک عمود بر لوله)، B طول بلوک (بعد بلوک در راستای لوله)، H ارتفاع بلوک

## ۱-۲- ضوابط طراحی بلوک مهار

روش متداول طراحی بلوک مهار بر پایه کنترل نسبت نیروی مقاوم بر نیروی محرک در برابر لغزش و واژگونی استوار است. در این روش ابتدا نیروهای محرک و مقاوم وارد بر بلوک مهار محاسبه می‌شوند و سپس با در نظر گرفتن ضریب اطمینان مناسب، پایداری بلوک مهار در برابر لغزش و واژگونی کنترل می‌شود. ضرایب اطمینان برای لغزش و واژگونی بترتیب برابر ۱/۵ و ۱/۷۵ در نظر گرفته می‌شوند. علاوه بر کنترل لغزش و واژگونی، حداکثر و حداقل تنش خاک در زیر بلوک مهار و حداکثر تنش برشی بلوک مهار نیز کنترل می‌شوند. موارد زیر در خصوص روش متداول طراحی بلوک مهار مطرح می‌باشد.

- نیروی محوری وارد بر بلوک مهار با فرض عدم جابه‌جایی و ثابت ماندن بلوک مهار با استفاده از رابطه‌ی ۱ محاسبه می‌شود. در صورتی که بلوک مهار تحت اثر نیروی محوری کمی جابه‌جا می‌شود و این جابه‌جایی منجر به کاهش نیروی محوری می‌شود. کاهش نیروی محوری وابسته به میزان جابه‌جایی بلوک مهار می‌باشد و لازم است برای برآورد صحیح این نیرو میزان جابه‌جایی بلوک در محاسبات لحاظ گردد.
- در محاسبه نیروی مقاوم بلوک مهار، ۱۰۰٪ نیروی

جدول ۱. مشخصات انواع خاک مورد مطالعه

Table 1. Soil properties

نوع خاک	جنس خاک	وزن مخصوص (kN/m <sup>3</sup> )	چسبندگی (kN/m <sup>3</sup> )	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
۱	ماسه متراکم	۲۱/۵	۰	۴۰
۲	رس سخت	۱۸/۵	۸۰	۱۰
۳	ماسه شل	۱۸	۰	۱۸
۴	رس نرم	۱۶/۵	۵	۱۳

$$F_p = W \left[ 0.5\gamma_s H^2 K_p + 2CH\sqrt{K_p} \right] \quad (3)$$

$$K_p = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} \quad (4)$$

$$F_a = W \left[ 0.5\gamma_s H^2 K_a - 2CH\sqrt{K_a} \right] \quad (5)$$

$$K_a = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} \quad (6)$$

در این روابط، H ارتفاع بلوک، W عرض بلوک (بعد بلوک در راستای عمود بر لوله)، B طول بلوک (بعد بلوک در راستای لوله)، H<sub>p</sub> تراز لوله (فاصله مرکز لوله از کف بلوک)، C ارتفاع پوشش خاک روی بلوک،  $\gamma_s$  وزن مخصوص خاک،  $\phi$  زاویه اصطکاک داخلی خاک،  $k_p$  ضریب فشار فعال خاک و  $k_a$  ضریب فشار محرک خاک هستند. نیروهای لغزشی ناشی از اصطکاک نیز از روابط زیر به دست می‌آید. نیروی مقاوم لغزشی کف:

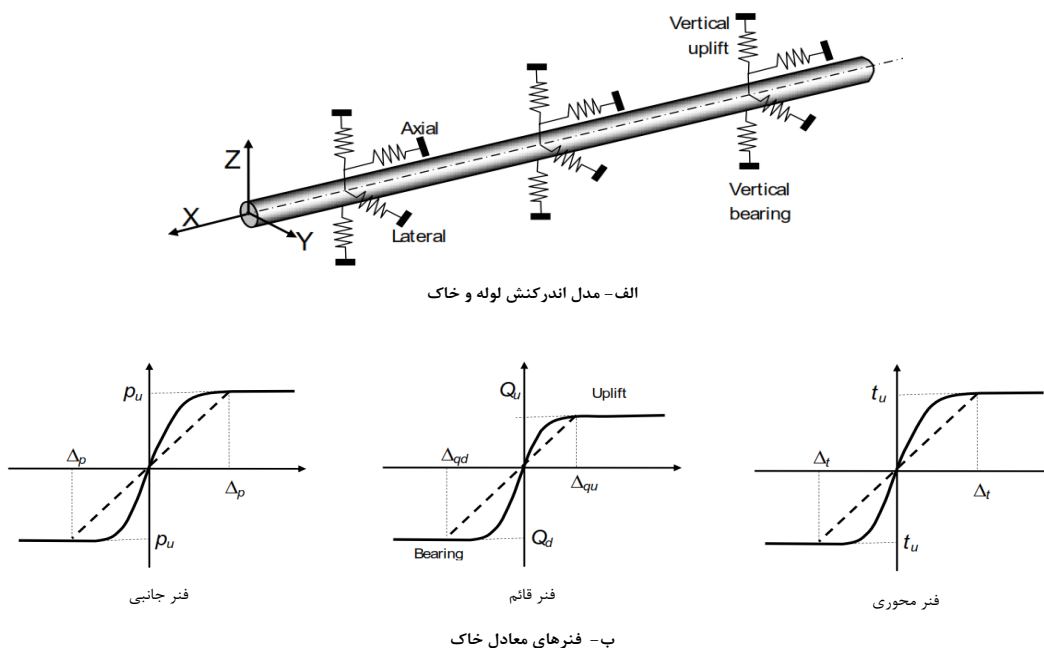
$$FR_b = W \times [\gamma_c \times H \times B \times \tan\delta + B \times C_a] \quad (7)$$

نیروی مقاوم لغزشی جداره‌ها:

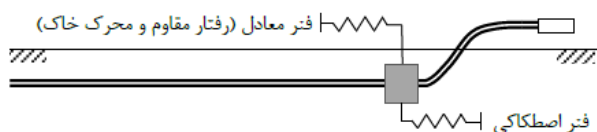
$$FR_s = B \times H \times \left[ \frac{1}{2} \gamma_s \times H \times K_0 \times \tan\delta + C_a \right] \quad (8)$$

در این روابط،  $\delta$  زاویه اصطکاک داخلی بین خاک و بتن،  $C_a$  چسبندگی بین خاک و بتن،  $\gamma_c$  وزن مخصوص بتن و  $\gamma_s$  وزن مخصوص خاک است. برای طراحی بلوک مهار، نسبت  $\delta/\phi$ ، معادل ۰/۶۷ و نسبت  $C_a/C$  برای جداره‌های بلوک برابر صفر و برای کف بلوک برابر ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.





شکل ۴. نحوه ی مدل سازی اندرکنش لوله و خاک [۱۲]  
Fig. 4. Soil-pipe interaction modeling [12]



شکل ۵. نحوه ی مدل سازی اندرکنش بلوک مهاری و خاک  
Fig. 5. Soil-block interaction modeling

طراحی بلوک‌های مهاری برای خطوط لوله فوق براساس روش متداول طراحی (بند ۲) انجام شده‌است و برای محاسبه نیروهای وارد بر بلوک مهاری از روابط ۱ الی ۸ استفاده شده‌است. ابعاد بلوک‌های مهاری برای فشار ۷۲ بار (۱۰۵۰ psi) و اختلاف دمایی ۴۵ درجه سانتیگراد محاسبه شده و در جدول ۲ ارائه شده‌است. برای محاسبه ابعاد بلوک مهاری، حداقل ضریب اطمینان پایداری در برابر لغزش ۱/۵ و حداقل ضریب اطمینان پایداری در برابر واژگونی ۱/۷۵ در نظر گرفته شده‌اند.

### ۳-۱- مدل تحلیلی اجزاء محدود

مدل اجزاء محدود خط لوله و بلوک مهاری با استفاده از المان لوله<sup>۲</sup> و با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و لوله و همچنین اندرکنش خاک و بلوک مهاری ساخته شده‌است. در نرم افزار ANSYS، المان لوله مشابه المان تیر<sup>۳</sup> با دو گره و مقطع مورد نظر تعریف می‌گردد

اصطکاک و ۱۰۰٪ نیروی ناشی از فشار مقاوم خاک<sup>۱</sup> در نظر گرفته می‌شوند. باتوجه به جابه‌جایی بسیار کم بلوک مهاری (کمتر از یک سانتیمتر) فقط بخش نسبتاً کمی از نیروی مقاوم خاک بسیج می‌شود. میزان واقعی این نیرو وابسته به جابه‌جایی بلوک مهاری می‌باشد و لازم است برای برآورد صحیح این نیرو میزان جابه‌جایی بلوک در محاسبات لحاظ گردد.

### ۳- مطالعات تحلیلی

مطالعات تحلیلی با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود ANSYS با انجام تحلیل‌های استاتیکی غیر خطی با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و لوله و اندرکنش خاک و بلوک مهاری انجام شده‌است. چهار خط لوله انتقال گاز با قطر ۵۶، ۴۲، ۳۰، و ۱۶ اینچ در چهار نوع خاک (جداول ۱) تحلیل شده‌اند. عمق دفن این لوله‌ها ۱۲۰ سانتیمتر و بر اساس ضوابط موجود [۱۰] فاصله زیر لوله تا کف کانال ۲۰ سانتیمتر است و اطراف لوله تا ارتفاع ۲۰ سانتیمتر روی لوله با ماسه نرم پر می‌شود. برای پر کردن بقیه کانال از خاک حفاری شده استفاده می‌شود.

2 Pipe element  
3 Beam element

1 Passive soil resistance

جدول ۳. حداکثر تغییر مکان و نیروی محوری در خط لوله بدون بلوک مهار

Table 3. Maximum displacement and axial force in pipelines without anchor block

قطر لوله (in.)	نیروی محوری تئوریک ( $Q_0$ ) (kN)	حد اکثر نیروی محوری تحلیلی (kN)	طول فعال خط لوله (m)	حداکثر تغییر مکان انتهای لوله (mm)
۵۶	۱۵۵۴۰	۱۵۳۰۰	۳۵۰	۱۱۴
۴۲	۸۶۰۸	۸۴۹۰	۳۰۰	۹۷
۳۰	۴۸۲۴	۴۷۵۰	۲۵۰	۷۵
۱۶	۱۵۱۶	۱۴۹۰	۲۰۰	۵۱

با این نیرو ۵ میلیمتر در نظر گرفته شده است.

در این رابطه،  $D$  قطر لوله،  $H$  عمق مرکز لوله از سطح زمین،  $\bar{\gamma}$  وزن مخصوص مؤثر خاک،  $K_0$  ضریب فشار خاک در حالت سکون<sup>۲</sup> و  $\delta$  زاویه اصطکاک داخلی<sup>۳</sup> بین سطوح میباشد. بر اساس مطالعات آزمایشگاهی ویژویکرم و همکاران [۱۳] مقادیر  $K_0$  و  $\delta$  به ترتیب معادل ۰/۳۷ و ۳۱° در نظر گرفته شده است. مشخصات فنر جانبی بر اساس مشخصات خاک اصلی تعیین شده است. بیشینه نیروی جانبی خاک در واحد طول لوله از رابطه (۱۰) و تغییر مکان الاستیک متناظر با این نیرو از رابطه (۱۱) به دست می آید.

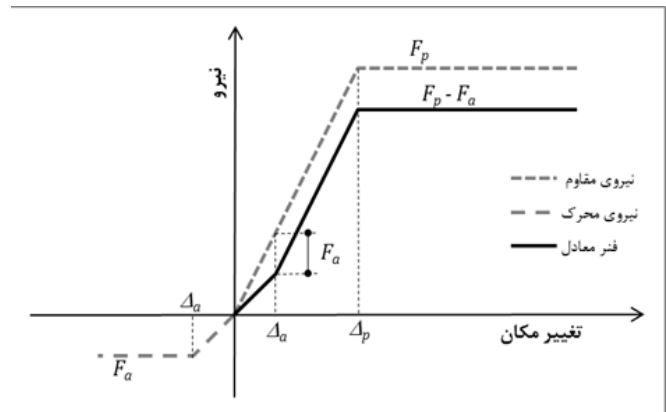
$$P_u = N_{ch}cD + N_{qh}\bar{\gamma}HD \quad (10)$$

$$\Delta p = 0.04(H + D/2) \leq 0/15D \quad (11)$$

مشخصات فنر قائم بر اساس مقاومت فشاری و مقاومت برکنش تعیین شده است. بیشینه نیروی فشاری از رابطه ی ۱۲ به دست می آید و تغییر مکان الاستیک متناظر با این نیرو برای خاک دانه ای برابر با  $0/1D$  و برای خاک چسبنده برابر با  $0/2D$  می باشد. بیشینه نیروی برکنش از رابطه ی ۱۳ به دست می آید و تغییر مکان الاستیک متناظر با این نیرو برابر با  $0/2 H$  می باشد.

$$P_u = N_c cD + N_q \bar{\gamma} HD + N_\gamma \frac{D^2}{2} \quad (12)$$

$$P_u = N_{cv} cD + N_{qv} \bar{\gamma} HD \quad (13)$$



شکل ۶. نمودار نیرو-تغییر مکان فنر معادل برای مدل سازی اندرکنش خاک و بلوک

Fig. 6. Equivalent spring properties for active and passive soil resistance

ولی در این المان، امکان اعمال فشار داخلی و لحاظ کردن اثر فشار بر تغییر شکل و تنش جداره مقطع وجود دارد. طول خط لوله در مدل اجزاء محدود ۵۰۰ متر است که با ۱۰۰ المان بطول ۵ متر مدل شده است. اندرکنش خاک و لوله با فنرهای غیرخطی و در فواصل ۵ متر از یکدیگر و اندرکنش خاک و بلوک مهار با دو فنر غیر خطی مدل سازی شده اند.

نحوه ی مدل سازی اندرکنش خاک و لوله در شکل ۴ ارائه شده است. اندرکنش خاک و لوله با فنرهای غیر خطی وینکلر<sup>۱</sup> در سه جهت محوری، جانبی و قائم شبیه سازی شدند. بر اساس ضوابط طراحی خطوط لوله مدفون [۱۱] مشخصات این فنرها با توجه به روش اجرا بر اساس مشخصات خاکریز دور لوله یا خاک اصلی تعیین شدند. پارامترهای فنر محوری بر اساس مشخصات خاک ماسه ای اطراف لوله و پارامترهای فنر جانبی بر اساس مشخصات خاک اصلی محاسبه شدند. در جهت قائم رفتار فنر نامتقارن است و برای محاسبه پارامترهای فنر قائم در برکنش از مشخصات خاکریز و در فشار از مشخصات خاک اصلی استفاده شده است.

مشخصات فنر محوری با توجه به اندرکنش لوله و ماسه نرم اطراف لوله بر اساس ضوابط طراحی خطوط لوله مدفون [۱۱] تعیین شده است.

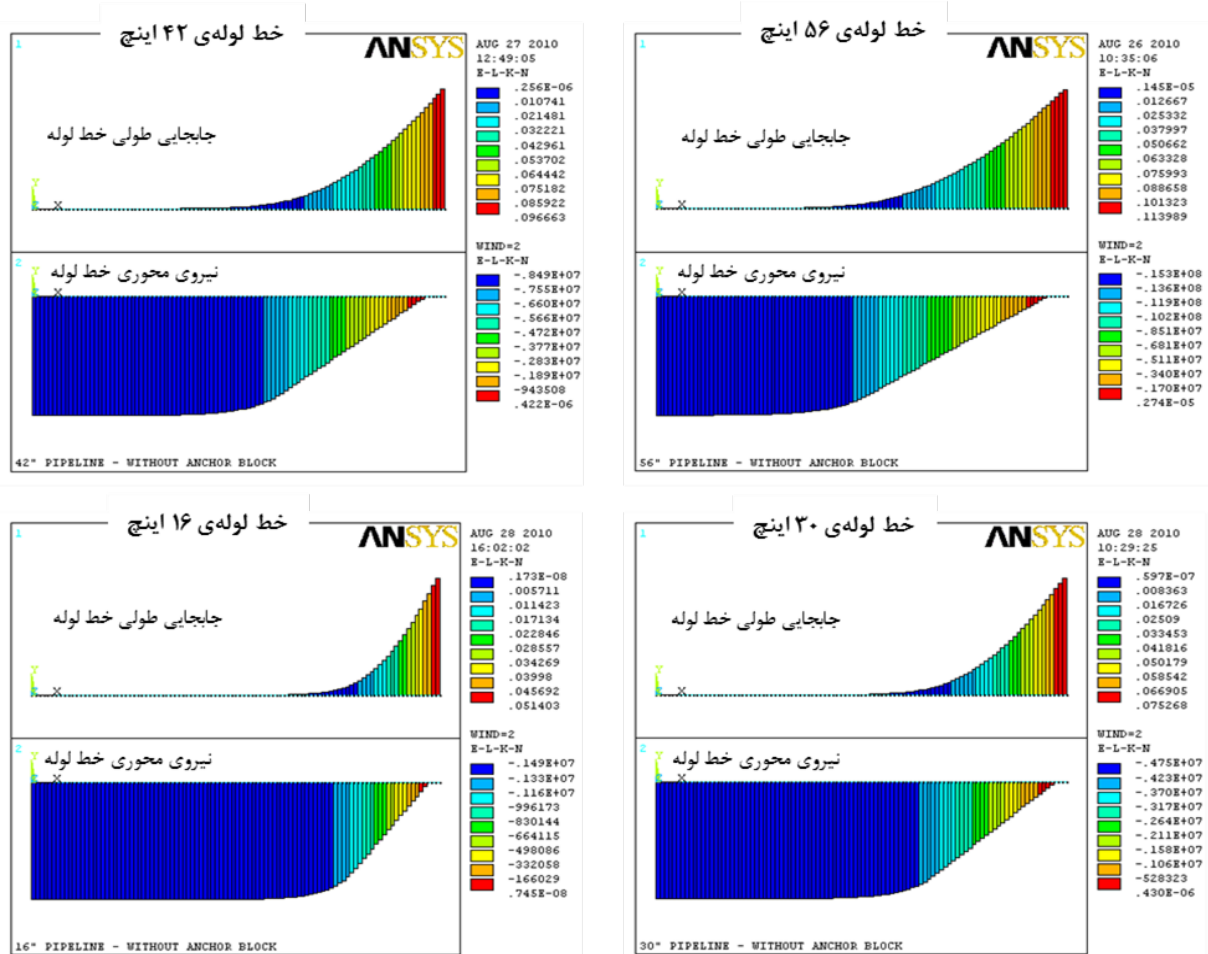
$$T_u = \pi DH \bar{\gamma} \frac{K_0 + 1}{2} \tan \delta \quad (9)$$

متناسب با این ضوابط، بیشینه نیروی محوری خاک ماسه ای در واحد طول لوله از رابطه ی ۹ به دست می آید و تغییر مکان الاستیک متناظر

1 Winkler spring

2 Coefficient of earth pressure at rest

3 Angle of internal friction



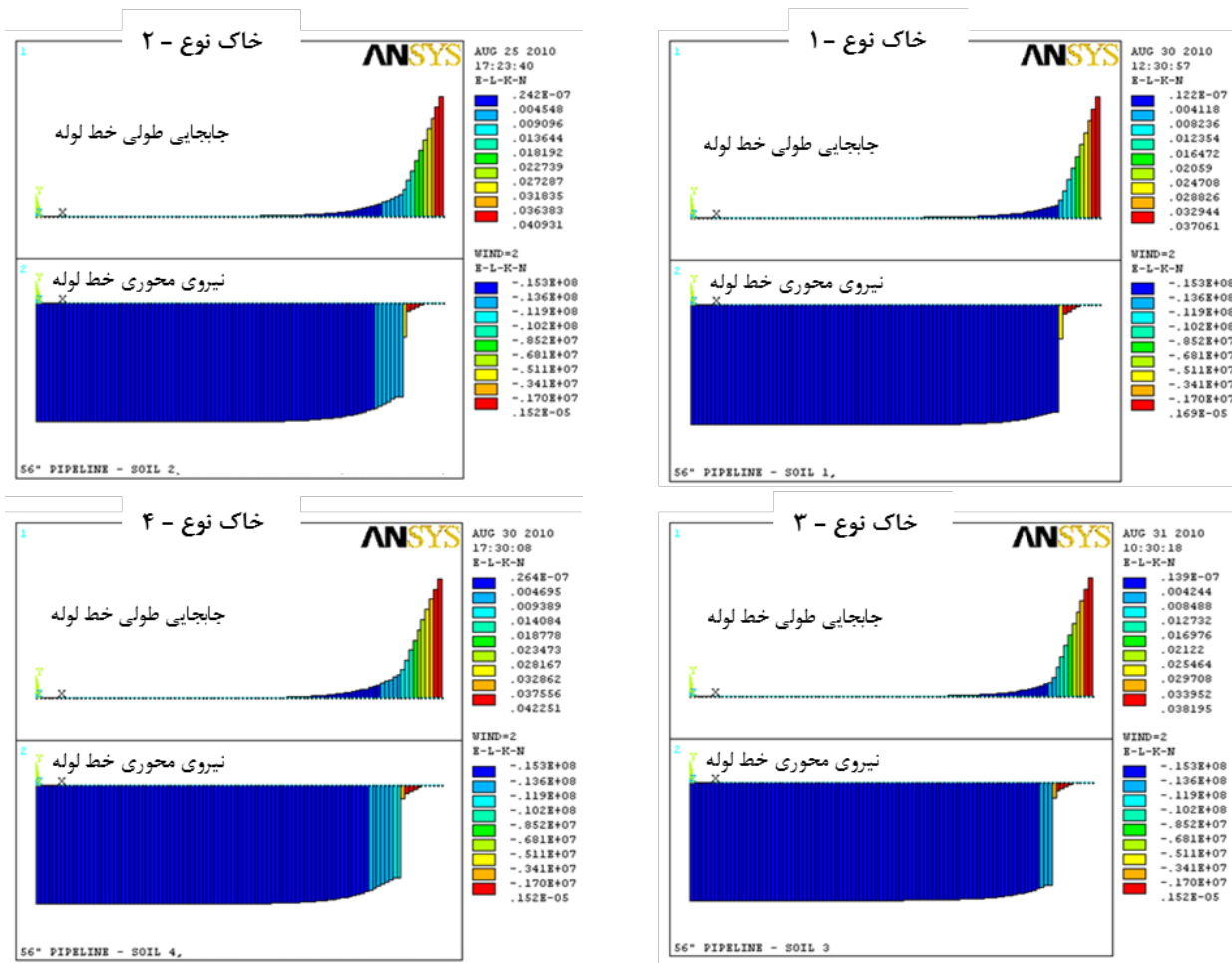
شکل ۷. نمودار جابجایی و نیروی محوری در طول ۵۰۰ متری انتهای خط لوله بدون بلوک مهار

Fig. 7. Displacement and axial force along 500 m length at end of pipeline without anchor block

و رفتار ناشی از فشار محرک و فشار مقاوم خاک در دو انتهای بلوک (شرایط passive و active) با استفاده از یک فنر معادل غیر خطی دیگر شبیه سازی شدند (شکل ۵). نمودار نیرو-تغییر مکان فنر معادل که برآیند رفتار مقاوم و محرک خاک در دو انتهای بلوک می‌باشد در شکل ۶ ارائه شده‌است. در تغییر مکان‌های کوچکتر از  $D_a$  (تغییر مکان لازم برای بسیج شدن کل نیروی محرک خاک)، سختی فنر معادل از تقسیم نیروی مقاوم خاک منهای کل نیروی محرک خاک بر  $\Delta_a$  به‌دست می‌آید. برای تغییر مکان‌های بزرگتر از  $\Delta_a$ ، نیروی فنر معادل از تفاضل دو نیروی مقاوم و محرک خاک به‌دست می‌آید. در تغییر مکان‌های بزرگتر از  $\Delta_p$  (تغییر مکان لازم برای بسیج کل نیروی مقاوم خاک)، فنر معادل به صورت پلاستیک کامل فرض شده‌است. حداکثر نیروی ناشی از فشار محرک و مقاوم خاک و همچنین نیروی ناشی از اصطکاک با استفاده از روابط ۳ الی ۸ محاسبه شده‌اند و تغییر مکان‌های متناظر بر اساس ضوابط طراحی

در روابط فوق  $N_{qv}$ ،  $N_{cv}$ ،  $N_y$ ،  $N_q$ ،  $N_c$ ،  $N_{qh}$ ،  $N_{ch}$  ضرایب باربری خاک می‌باشند که با استفاده از روابط و نمودارهای مندرج در ضوابط طراحی خطوط لوله مدفون [۱۱] به‌دست می‌آیند.

با توجه به ابعاد بزرگ بلوک مهار نسبت به خط لوله و همچنین تفاوت زیاد سختی بتن با خاک، رفتار بلوک مهار همانند یک قطعه صلب می‌باشد که از یک طرف به لوله متصل است و از طرف دیگر با خاک اطراف بلوک مهار در تماس است. لذا بلوک مهار به‌صورت یک تکیه‌گاه به همراه فنرهای غیرخطی که اندرکنش خاک و بلوک را شبیه سازی می‌کنند مدل‌سازی شده‌است. برای مدل‌سازی اندرکنش خاک و بلوک مهار با توجه به اینکه رفتار ناشی از اصطکاک با رفتار ناشی از فشار خاک متفاوت است، از دو فنر غیرخطی که اندرکنش خاک با بلوک مهار را بعنوان یک قطعه صلب شبیه سازی می‌کنند استفاده شده‌است. رفتار ناشی از اصطکاک بین بلوک مهار و خاک اطراف آن با یک فنر غیر خطی الاستوپلاستیک (فنر اصطکاک‌ی)

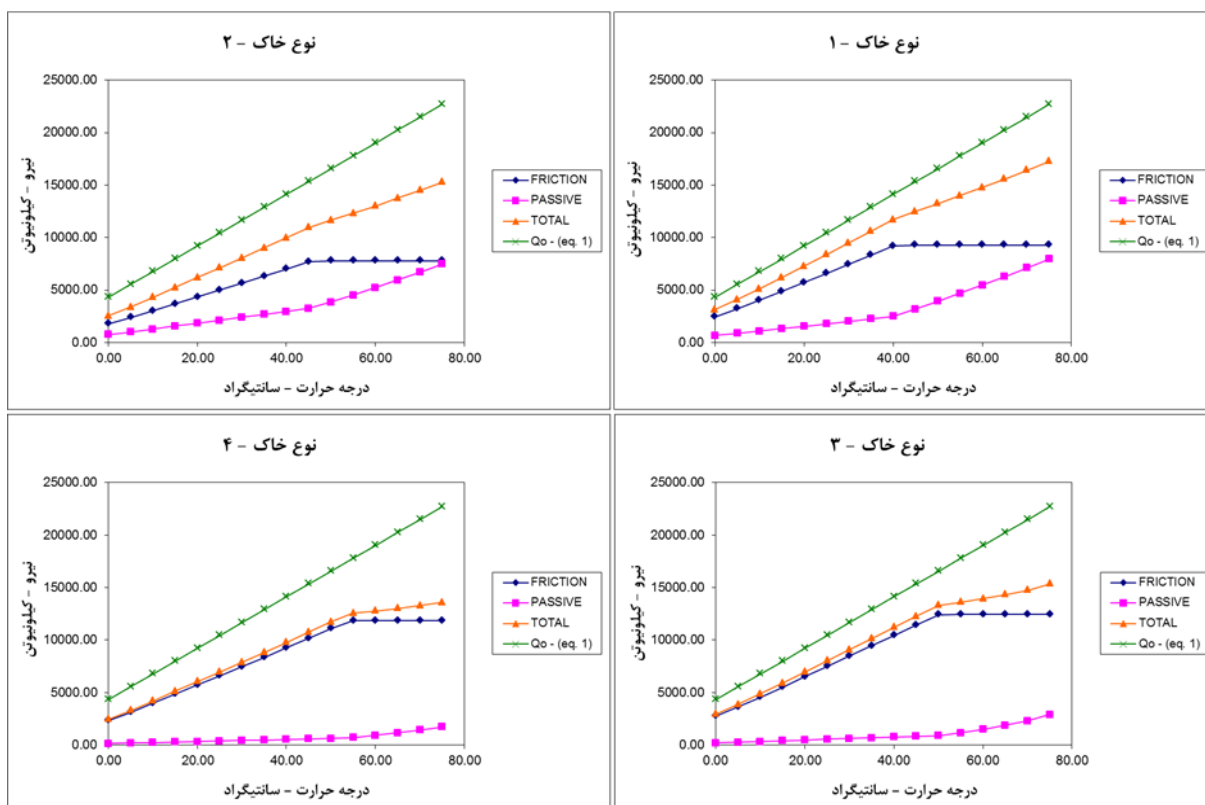


شکل ۸. نمودار جابجایی و نیروی محوری در طول ۵۰۰ متری انتهای خط لوله ۵۶ اینچ بدون بلوک مهار  
 Fig. 8. Displacement and axial force along 500 m length at end of pipeline with anchor block

متر است (خط لوله ۵۶ اینچ بدون بلوک مهار). با توجه به نتایج تحلیل‌های مقدماتی، طول لوله برای تمام مدل‌های تحلیلی ۵۰۰ متر تعیین گردید. شرایط مرزی هر دو انتهای لوله بدون قید و به صورت آزاد در نظر گرفته شد و بارگذاری با اعمال فشار داخلی و درجه حرارت به المانهای لوله انجام شد. به دلیل رفتار غیر خطی خاک اطراف لوله و بلوک مهار و جهت اطمینان از همگرایی نتایج تحلیل، فشار داخلی و دما در چند مرحله به خط لوله اعمال گردید. ابتدا فشار به میزان ۷۲ بار (۱۰۵۰ psi) به خط لوله اعمال گردید و سپس دما

خطوط لوله مدفون [۱۱] و اصول مهندسی ژئوتکنیک [۱۴ و ۱۵] در نظر گرفته شده‌است.

یکی از پارامترهای مهم در مدل‌سازی خطوط لوله، تعیین طول لوله برای مدل تحلیلی می‌باشد. طول لوله در مدل تحلیلی باید از طول فعال لوله که تحت اثر فشار و دما جابجا می‌شود بیشتر باشد بطوریکه اعمال شرایط مرزی متفاوت در انتهای لوله تاثیری بر نتایج تحلیل نگذارد. در این مطالعه این طول با انجام تحلیل‌های مقدماتی و اعمال شرایط مرزی متفاوت در انتهای مدفون لوله تعیین گردید. نتایج تحلیلهای مقدماتی مشخص نمود که طول فعال حداکثر ۳۵۰



شکل ۹. نمودارهای نیروهای وارد بر بلوک مهار در درجه حرارت های مختلف برای لوله ی ۵۶ اینچ  
 Fig. 9. Anchor block forces vs. temperature for the 56 in. pipeline

در مجاورت آن قرار دارد وابسته است و خاک اصلی محل دفن لوله بر رفتار خط لوله اثر نمی گذارد. لذا نتایجی که در بخش ارائه می شود برای تمام خاک های اصلی محل احداث خط لوله یکسان می باشد.

شکل ۷ نمودارهای تغییرمکان طولی و نیروی محوری را در طول ۵۰۰ متر انتهای خطوط لوله (طول مدل تحلیلی) در شرایط بهره برداری نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود حداکثر جابه جایی در انتهای آزاد خطوط لوله رخ می دهد و این جابه جایی برای خطوط لوله ۵۶، ۴۲، ۳۰ و ۱۶ اینچ به ترتیب برابر ۱۱۴، ۹۷، ۷۵ و ۵۱ میلی متر می باشد. این میزان جابه جایی می تواند به اتصالات منشعب از خطوط لوله آسیب برساند و لذا لازم است از بلوک مهار برای کنترل تغییرمکان طولی خطوط لوله استفاده شود. شکل ۷ همچنین نشان می دهد که نیروی محوری در انتهای آزاد خطوط لوله برابر صفر می باشد و در فاصلهای ۲۰۰ الی ۳۵۰ متر از انتهای خطوط لوله به مقدار حداکثر خود میرسد. براساس نتایج تحلیل ها، حداکثر نیروی محوری خطوط لوله ۵۶، ۴۲، ۳۰ و ۱۶ اینچ به ترتیب برابر ۱۵۳۰۰، ۸۴۹۰، ۴۷۵۰ و ۱۴۹۰ کیلونیوتن می باشد. در جدول ۳ نیروی محوری تئوریک که با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شده است

در ۱۵ مرحله از ۰°C تا ۷۵°C درجه سانتی گراد (۵°C در هر مرحله) افزایش داده شد.

#### ۴- نتایج تحلیل ها

تحلیل های اجزأ محدود خطوط لوله ۵۶، ۴۲، ۳۰ و ۱۶ اینچ ابتدا بدون بلوک مهار و سپس با بلوک مهار انجام شد. نتایج این تحلیل ها در شرایط بهره برداری (فشار داخلی ۷۲ بار و حرارت ۴۵ درجه سانتی گراد) در ادامه ارائه شده است. در خطوط لوله بدون بلوک مهار، رفتار طولی خط لوله منحصراً به اندرکنش لوله و خاک ماسه ای که در مجاورت آن قرار دارد وابسته است ولی در خطوط لوله با بلوک مهار، نوع خاک محل احداث بلوک مهار نیز بر این رفتار تاثیر زیادی می گذارد.

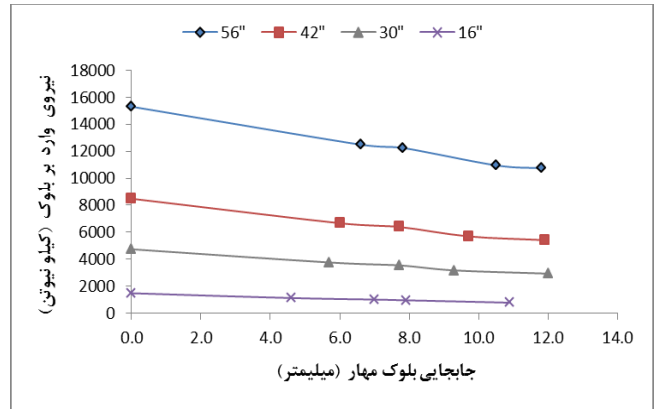
##### ۴-۱ خط لوله بدون بلوک مهار

مدل اجزأ محدود در تحلیل خط لوله بدون بلوک مهار شامل ۵۰۰ متر انتهایی خط لوله و فنرهای وینکلر برای مدل سازی اندرکنش خاک و لوله می باشد. با توجه به این که در زمان بهره برداری انبساط ناشی از افزایش فشار داخلی و دما باعث جابه جایی طولی لوله می شود، رفتار خط لوله منحصراً به اندرکنش لوله و خاک ماسه ای که

جدول ۴. مقادیر نیروی محوری خط لوله با استفاده از روابط ارائه شده

Table 4. Anchor block thrust force calculated by the proposed equations

درصد کاهش نیروی محوری			نیروی محوری Q (رابطه ۱۴) (ton)			نیروی محوری Q <sub>۰</sub> (رابطه ۱) (ton)	قطر لوله (in.)
Δ=10mm	Δ=20mm	Δ=30mm	Δ=10mm	Δ=20mm	Δ=30mm		
٪۲۳	٪۴۰	٪۵۱	۱۱۹۰	۹۳۵	۷۵۶	۱۵۵۴	۵۶
٪۲۵	٪۴۳	٪۵۶	۶۴۷	۴۹۱	۳۸۱	۸۶۳	۴۲
٪۲۶	٪۴۶	٪۶۰	۳۵۵	۲۵۹	۱۹۱	۴۸۱	۳۰
٪۳۳	٪۵۷	٪۷۵	۱۰۱	۶۴	۳۸	۱۵۰	۱۶



شکل ۱۰. نمودار نیروی محوری وارد بر بلوک مهار در برابر جابه‌جایی آن  
Fig. 10. Anchor block thrust force vs. displacement

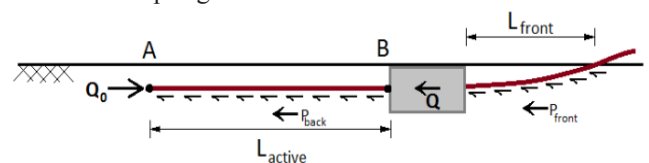
با حداکثر نیروی محوری تحلیلی مقایسه شده‌است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، اختلاف بین نیروهای محوری تحلیلی و تئوریک کمتر از ۲٪ است. طول فعال خطوط لوله و حداکثر تغییر مکان انتهایی خط لوله نیز در این جدول ارائه شده‌اند. بطور کلی نیروی محوری، طول فعال و تغییر مکان طولی خط لوله با افزایش قطر لوله افزایش می‌یابند.

#### ۱-۵- خط لوله با بلوک مهار

مدل اجزای محدود در تحلیل خطوط لوله با بلوک مهار شامل ۵۰۰ متر انتهایی خط لوله، فنرهای وینکلر<sup>۱</sup> برای مدل‌سازی اندرکنش خاک و لوله، و فنرهای غیرخطی برای مدل‌سازی اندرکنش خاک و بلوک مهار می‌باشد. تحلیل‌های اجزای محدود خطوط لوله ۵۶، ۴۲، ۳۰ و ۱۶ اینچ با بلوک مهار در شرایط بهره‌برداری و در چهار نوع خاک انجام شد. با توجه به اندرکنش بلوک مهار و خاک، رفتار سیستم خط لوله و بلوک مهار به مشخصات خاک محل احداث بلوک مهار وابسته است.

شکل ۸ نمودارهای تغییر مکان طولی و نیروی محوری در طول ۵۰۰ متر انتهایی خط لوله ۵۶ اینچ را در شرایط بهره‌برداری برای

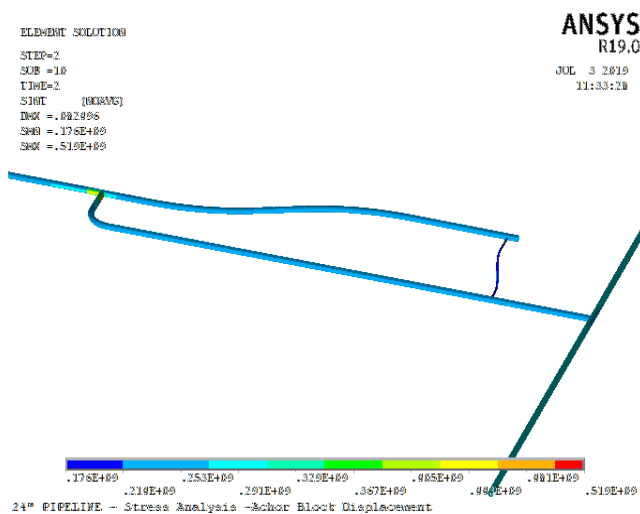
#### ۱ Winkler spring



شکل ۱۱. نیروهای وارد بر مجموعه بلوک و خط لوله

Fig. 11. Distribution of forces near the anchor block

۴ نوع خاک نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در محلی که فنرهای غیرخطی برای مدل‌سازی اندرکنش خاک و بلوک مهار قرار داده شده‌اند، نیروی محوری خط لوله به دلیل انتقال این نیرو به بلوک مهار بشدت کاهش می‌یابد. نیروی وارد بر بلوک مهار به ابعاد بلوک و نوع خاک وابسته است و از تفاضل نیروی محوری خط لوله در دو طرف بلوک مهار به دست می‌آید. این نیرو برای خط لوله ۵۶ اینچ در خاک‌های نوع ۱، ۲، ۳، و ۴ به ترتیب برابر ۱۲۴۹۰، ۱۲۲۵۰، ۱۰۹۶۰، و ۱۰۷۴۰ کیلونیوتن می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، هرچه سختی خاک بیشتر باشد (خاک نوع ۱ و ۲)، نیروی بیشتری به بلوک مهار وارد می‌شود و با کاهش سختی خاک این نیرو کاهش می‌یابد. شکل ۸ همچنین نشان می‌دهد که حداکثر جابه‌جایی در انتهای آزاد خط لوله در خاک‌های مختلف بین ۳۸ تا ۴۲ میلی‌متر می‌باشد که در مقایسه با حالت بدون بلوک مهار حدود ۶۵٪ کمتر است.



شکل ۱۲. وضعیت تنش در انشعابات بالا دست بلوک مهار بر اثر جابه‌جایی بلوک

Fig. 12. Pipe stress intensity upstream of the anchor block

جدول ۵. مشخصات بلوک مهار در خاک نوع ۱  
Table 5. Anchor block dimensions for soil type 1

میزان کاهش حجم بلوک	طراحی بر اساس تغییر مکان ( $\Delta = 20\text{mm}$ )			طراحی متداول به روش سنتی			قطر لوله (in.)				
	حجم بلوک ( $\text{m}^3$ )	ابعاد بلوک مهار ( $W \times B \times H$ ) (m)		حجم بلوک ( $\text{m}^3$ )	ابعاد بلوک مهار ( $W \times B \times H$ ) (m)			نیروی محوری ( $Q_0$ ) (ton)			
٪۴۴	۳۸۶	۱۴/۵	۷/۲	۳/۷	۹۳۵	۶۹۶	۱۸/۲	۹/۱	۴/۲	۱۵۵۴	۵۶
٪۴۸	۱۸۹	۱۱/۱	۵/۵	۳/۱	۴۹۱	۳۶۳	۱۴/۴	۷/۲	۳/۵	۸۶۳	۴۲
٪۵۱	۹۵	۸/۴	۴/۲	۲/۷	۲۵۹	۱۹۵	۱۴/۴	۵/۷	۳	۴۸۱	۳۰
٪۶۵	۱۸	۴/۱	۲/۱	۲/۱	۶۴	۵۲	۶/۷	۳/۴	۲/۳	۱۵۰	۱۶

منظور کاهش ابعاد بلوک مهار روش جدیدی برای طراحی بلوک مهار تدوین شده است که در آن کاهش نیروی محوری در اثر جابه‌جایی بلوک مهار در نظر گرفته می‌شود.

#### ۵- روش طراحی بر اساس تغییر مکان

در روش متداول طراحی بلوک مهار، نیروی محوری با فرض عدم جابه‌جایی و ثابت ماندن بلوک مهار و با استفاده از رابطه‌ی ۱ محاسبه می‌شود. در صورتیکه بلوک مهار تحت اثر نیروی محوری کمی جابجا می‌شود و در اثر این جابه‌جایی نیروی محوری وارد بر بلوک مهار کاهش می‌یابد. با توجه به این که کاهش نیروی وارد بر بلوک مهار به میزان جابه‌جایی بلوک مهار وابسته است (شکل ۱۰)، در این پژوهش روش جدیدی برای طراحی بلوک‌های مهار تدوین شده است که در آن نیروی محوری بر اساس حداکثر جابه‌جایی مجاز بلوک مهار محاسبه می‌گردد. در این روش ابتدا حداکثر جابه‌جایی مجاز برای بلوک مهار تعیین می‌گردد و سپس محاسبه نیروی محوری و طراحی بلوک مهار برای این میزان جابه‌جایی انجام می‌شود. البته لازم است

شکل ۹ نمودارهای مؤلفه‌های نیروهای وارد بر بلوک مهار در درجه حرارت‌های مختلف و در هر چهار نوع خاک برای لوله‌ی ۵۶ اینچ را نشان می‌دهد. در این شکل نیروی محوری خط لوله ( $Q_0$ ) که با استفاده از رابطه‌ی ۱ محاسبه شده است نیز نشان داده شده است. بطوری که ملاحظه می‌گردد، در حرارت حدود ۴۵ درجه، نیروی ناشی از اصطکاک بطور کامل بسیج شده و فنر لغزشی جاری می‌شود. ولی در این درجه حرارت تنها مقدار کمی از نیروی پسیو بسیج شده است. همچنین، مجموع نیروی فنرهای لغزشی و پسیو که مساوی با نیروی وارده از طرف خط لوله به بلوک می‌باشد، در همه‌ی حالتها از نیروی محوری خط لوله ( $Q_0$ ) که با استفاده از رابطه‌ی ۱ محاسبه گردیده است، کمتر است. این کاهش ناشی از جابه‌جایی بلوک مهار می‌باشد.

شکل ۱۰ نمودار نیروی محوری در برابر جابه‌جایی بلوک مهار را برای خطوط لوله ۵۶، ۴۲، ۳۰ و ۱۶ اینچ را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود نیروی وارد بر بلوک مهار با افزایش جابه‌جایی بلوک مهار به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. لذا به

#### جدول ۶. مشخصات بلوک مهار در خاک نوع ۲

Table 6. Anchor block dimensions for soil type 2

میزان کاهش حجم بلوک	طراحی بر اساس تغییر مکان ( $\Delta = 20\text{mm}$ )			طراحی متداول به روش سنتی			قطر لوله (in.)				
	حجم بلوک ( $\text{m}^3$ )	ابعاد بلوک مهار ( $W \times B \times H$ ) (m)		حجم بلوک ( $\text{m}^3$ )	ابعاد بلوک مهار ( $W \times B \times H$ ) (m)			نیروی محوری ( $Q_0$ ) (ton)			
٪۵۰	۲۸۴	۱۲/۵	۶/۳	۳/۶	۹۳۵	۵۶۵	۱۶/۶	۸/۳	۴/۱	۱۵۵۴	۵۶
٪۵۴	۱۱۶	۸/۸	۴/۴	۳	۴۹۱	۲۵۴	۱۲/۴	۶/۲	۳/۳	۸۶۳	۴۲
٪۵۹	۴۶	۶/۱	۳	۲/۵	۲۵۹	۱۱۱	۹/۱	۴/۵	۲/۷	۴۸۱	۳۰
٪۶۲	۹	۲/۴	۱/۹	۹	۶۴	۲۴	۴/۵	۲/۷	۲	۱۵۰	۱۶

جدول ۷. مشخصات بلوک مهار در خاک نوع ۳  
Table 7. Anchor block dimensions for soil type 3

میزان کاهش حجم بلوک	طراحی بر اساس تغییر مکان ( $\Delta = 20\text{mm}$ )			طراحی متداول به روش سنتی			قطر لوله (in.)				
	حجم بلوک ( $\text{m}^3$ )	ابعاد بلوک مهار ( $W \times B \times H$ ) (m)		حجم بلوک ( $\text{m}^3$ )	ابعاد بلوک مهار ( $W \times B \times H$ ) (m)			نیروی محوری ( $Q_0$ ) (ton)			
٪۴۶	۱۶۱۳	۲۸/۱	۱۴	۴/۱	۹۳۵	۲۹۷۵	۳۷/۲	۱۸/۶	۴/۳	۱۵۵۴	۵۶
٪۴۹	۷۶۸	۱۹/۹	۹/۹	۳/۹	۴۹۱	۱۵۱۷	۲۷/۲	۱۳/۶	۴/۱	۸۶۳	۴۲
٪۵۴	۳۵۰	۱۴/۱	۷/۱	۳/۵	۲۵۹	۷۵۶	۱۹/۹	۱۰	۳/۸	۴۸۱	۳۰
٪۶۵	۶۴	۶/۷	۳/۳	۲/۹	۶۴	۱۸۵	۱۰/۷	۵/۴	۳/۲	۱۵۰	۱۶

جدول ۸. مشخصات بلوک مهار در خاک نوع ۴  
Table 8. Anchor block dimensions for soil type 4

میزان کاهش حجم بلوک	طراحی بر اساس تغییر مکان ( $\Delta = 20\text{mm}$ )			طراحی متداول به روش سنتی			قطر لوله (in.)				
	حجم بلوک ( $\text{m}^3$ )	ابعاد بلوک مهار ( $W \times B \times H$ ) (m)		حجم بلوک ( $\text{m}^3$ )	ابعاد بلوک مهار ( $W \times B \times H$ ) (m)			نیروی محوری ( $Q_0$ ) (ton)			
٪۴۶	۱۸۷۷	۲۹/۵	۱۴/۸	۴/۳	۹۳۵	۳۴۵۰	۳۹/۶	۱۹/۸	۴/۴	۱۵۵۴	۵۶
٪۵۱	۸۳۲	۲۰/۴	۱۰/۲	۴	۴۹۱	۱۶۹۴	۲۸/۴	۱۴/۲	۴/۲	۸۶۳	۴۲
٪۵۱	۳۶۰	۱۴/۱	۷/۱	۳/۶	۲۵۹	۷۲۸	۲۰/۴	۱۰/۲	۳/۵	۴۸۱	۳۰
٪۶۹	۵۷	۶/۳	۳/۱	۲/۹	۶۴	۱۸۰	۱۰/۵	۵/۲	۳/۳	۱۵۰	۱۶

نیروی اصطکاک بین لوله و خاک و یا به عبارتی میزان کاهش نیروی وارد بر بلوک مهار تنها به جابه‌جایی بلوک مهار و اصطکاک بین لوله و خاک اطراف آن وابسته است.

در روش طراحی بر اساس تغییر مکان با در نظر گرفتن مقدار مشخصی برای جابه‌جایی مجاز بلوک مهار ( $\Delta_{block}$ )، نیروی محوری

$$L_{active} = \sqrt{\frac{2AE \Delta_{block}}{Tu}} \quad (16)$$

وارد بر بلوک ( $Q$ ) بر اساس تعادل نیروها (شکل ۱۱) از رابطه ی زیر به‌دست می‌آید:

نیروی ناشی از اصطکاک بین خاک و بخشی از خط لوله که در جلوی بلوک در خاک مدفون است، با فرض توزیع مثلثی نیرو از رابطه ی زیر به‌دست می‌آید.

در این روابط،  $P_{front}$  نیروی ناشی از اصطکاک لوله در جلوی بلوک،

جابه‌جایی مجاز بلوک مهار در تحلیل تنش لوله در نظر گرفته شود. در این روش با افزایش جابه‌جایی مجاز بلوک مهار، نیروی محوری وارد بر

$$Q = Q_0 - P_{back} - P_{front} \quad (14)$$

بلوک مهار و در نتیجه ابعاد بلوک کاهش می‌یابد.

شکل ۱۱ نیروهای وارد بر بلوک مهار و خط لوله را نشان می‌دهد. در اثر جابه‌جایی بلوک مهار بخشی از نیروی محوری خط

$$P_{front} = \frac{1}{2} \times T_u \times L_{front} \quad (15)$$

لوله ( $Q_0$ ) با نیروی اصطکاک بین خاک و طول مدفون لوله در جلوی بلوک ( $L_{front}$ ) و طول فعال لوله پشت بلوک ( $L_{active}$ ) خنثی می‌گردد و در نتیجه نیروی وارد بر بلوک مهار ( $Q$ ) کاهش می‌یابد.



مهار، بر اساس نقشه‌های تیپ شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران انجام شده‌است [۱۶] بر اساس نتایج این مطالعه، جابه‌جایی مجاز بلوک مهار برای خطوط لوله انتقال گاز ایران حداکثر ۲۰ میلی‌متر می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود با جابه‌جایی بلوک مهار به میزان ۲۰ میلی‌متر، نیروی محوری وارد بر بلوک مهار بین ۴۰ تا ۵۷ درصد کاهش می‌یابد.

## ۱-۶- مقایسه روش متداول طراحی بلوک‌های مهار و روش

### جدید

به منظور بررسی و مقایسه روش متداول طراحی و روش جدید (طراحی بر اساس تغییر مکان)، ابعاد بلوک برای چهار خط لوله‌ی ۵۶، ۴۲، ۳۰ و ۱۶ اینچ در چهار نوع خاک ۱ (ماسه متراکم)، ۲ (رس سخت)، ۳ (ماسه شل) و ۴ (رس نرم) محاسبه گردیده است. جداول ۵، ۶، ۷ و ۸ ابعاد بلوک مهار را با استفاده از روش متداول طراحی و روش طراحی بر اساس تغییر مکان نشان می‌دهد. در روش طراحی بر اساس تغییر مکان، جابه‌جایی مجاز بلوک مهار معادل ۲۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده‌است. چنانکه ملاحظه می‌شود، با استفاده از روش جدید طراحی بلوک‌های مهار، حجم بلوک مهار به میزان ۴۴ تا ۶۹ درصد کاهش می‌یابد.

## ۶- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مطالعه از روش اجزاء محدود جهت تحلیل و بررسی رفتار خطوط لوله مدفون در نزدیکی ایستگاه‌های تقویت و تقلیل فشار استفاده شده‌است. رفتار بلوک‌های مهار خطوط انتقال گاز برای چهار سایز لوله (۱۶ اینچ تا ۵۶ اینچ) و در چهار نوع خاک مورد مطالعه قرار گرفته است. این مطالعه با مدل‌سازی بلوک مهار، خط لوله و خاک اطراف و انجام تحلیل‌های استاتیکی غیر خطی با لحاظ نمودن تغییر فشار و دما در هنگام راه اندازی و بهره‌برداری انجام شده‌است. اهم نتایج مطالعات تحلیلی به شرح ذیل می‌باشد.

- در خطوط لوله مدفون و بدون بلوک مهار، نیروی محوری ناشی از فشار و دما در خط لوله توسط اصطکاک بین لوله و خاک اطراف آن در طول نسبتاً کوتاهی از انتهای خط لوله که طول فعال نامیده می‌شود مهار می‌شود و انبساط خط لوله مدفون فقط در محدوده طول فعال خط لوله رخ می‌دهد. طول فعال خط لوله با افزایش سایز لوله و افزایش فشار و دما افزایش می‌یابد. برای

$L_{front}$  طول مدفون لوله در جلوی بلوک و  $T_u$  اصطکاک بین لوله و خاک در واحد طول است که از رابطه (۹) به دست می‌آید. برای محاسبه نیروی ناشی از اصطکاک در پشت بلوک ( $P_{back}$ )، ابتدا

$$P_{back} = \lambda \times T_u \times L_{active} \quad (17)$$

$$\lambda = 0.3 + 0.7 \frac{\Delta_{block} - 5^{mm}}{\Delta_{block}} \geq 0.3 \quad (18)$$

لازم است طول فعال لوله ( $L_{active}$ ) با استفاده از رابطه زیر [۱] که در آن  $A'$  سطح مقطع و  $E$  مدول الاستیسیته لوله است محاسبه گردد. نیروی ناشی از اصطکاک در پشت بلوک ( $P_{back}$ ) وابسته به طول فعال لوله و نحوه توزیع نیروی اصطکاک در طول فعال لوله است. مطالعات پیشین [۱ و ۱۳] نشان داده است که توزیع نیروی اصطکاک لوله‌های مدفون در جابه‌جایی کم به صورت سهمی و در جابه‌جایی نسبتاً بزرگ تقریباً یکنواخت است. بر این اساس روابط زیر برای محاسبه این نیرو ( $P_{back}$ ) پیشنهاد می‌گردد که در آن،  $\lambda$  ضریبی است که به نحوه توزیع نیروی اصطکاک بستگی دارد. رابطه پیشنهادی برای محاسبه این ضریب (رابطه ۱۸) به صورت پارامتریک و با تطابق مقادیر محاسباتی نیروی محوری (رابطه ۱۴) با نتایج تحلیل‌های اجزاء محدود به دست آمده است.

مقادیر نیروی محوری خطوط لوله ۵۶، ۴۲، ۳۰ و ۱۶ اینچ برای جابه‌جایی بلوک به میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌متر براساس روابط فوق در جدول ۴ ارائه شده‌است. این جدول نشان می‌دهد که میزان نیروی محوری وارد بر بلوک مهار با افزایش جابه‌جایی بلوک مهار کاهش می‌یابد. البته برای استفاده از نیروی محوری کاهش یافته در طراحی بلوک مهار لازم است جابه‌جایی بلوک مهار در تحلیل تنش لوله لحاظ گردد. با توجه به کاهش نیروی محوری لوله در نزدیکی بلوک مهار (شکل ۸) وضعیت تنش خط لوله در این ناحیه بحرانی نمی‌باشد ولی جابه‌جایی بلوک باعث افزایش تنش در انشعابات بالادست بلوک مهار می‌شود که لازم است مورد توجه قرار گیرد. شکل ۱۲ وضعیت تنش در یک نمونه از انشعابات بالادست بلوک مهار را بر اثر جابه‌جایی بلوک نشان می‌دهد. مطالعه تحلیل تنش جامعی به منظور بررسی رفتار انشعابات خطوط لوله و تعیین حداکثر جابه‌جایی مجاز بلوک

- [2] Duncan, J. M., & Mokwa, R. L. "Passive earth pressures: theories and tests", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(3), pp.248-257, (2001).
- [3] Irsyam, M., Gantina, R., Valianti, M., & Himawan, A. "Remedial action for the movement of buried gas pipe and anchor block on a very soft soil due to fill embankment", *J. Indonesian Oil Gas Community*, 10(1), pp.13-14, (2007).
- [4] Al-Gahtani, H. J. "Optimum design of buried pipeline block anchors", *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 14(4), pp.190-193, (2009).
- [5] Gupta, C., Imran H. "Thrust Block for Pipelines - Case Study of Water Supply Scheme for a Town Berinag", *International Journal of Research in Advent Technology*, 6(7), pp.1587-1592, (2018).
- [6] Zhang, L., Yan, X., & Yang, X. "Using the unit force method to analyze thrust acting on anchor blocks caused by thermal expansion displacement of X80 tunnel pipelines", *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 7(1), p.04015012, (2015).
- [7] Yan, Y., Zhang, L., & Yan, X. "Push Force Analysis of Anchor Block of the Oil and Gas Pipeline in a Single-Slope Tunnel Based on the Energy Balance Method", *PloS one*, 11(3), p0150964, (2016).
- [8] Rahman, M. K., Abu Ghdaib, A. K., Ahmed, A., Shaahid, S. M., & Rehman, S. "Field monitoring of an in-service thrust anchor block and pipeline", *1st Middle East Conf. on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures, International Society for Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure (ISHMII)*, pp. 1-10, (2011).
- [9] Rankine, W. "On the stability of loose earth", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Vol. 147, (1857).
- [10] National Iranian Gas Company, "Iranian Gas Standard IGS-C-PL-100(1)", (2011), (in Persian)
- [11] ALA (American Lifelines Alliance). "Guidelines for the design of buried steel pipe", Reston, VA. (2001).

خطوط لوله مورد مطالعه در فشار ۷۲ بار و اختلاف دمای ۴۵ درجه سانتیگراد، این طول بین ۲۰۰ متر الی ۳۵۰ متر می‌باشد. تغییر مکان طولی انتهای خط لوله برای خطوط لوله ۵۶، ۴۲، ۳۰ و ۱۶ اینچ به ترتیب برابر با ۱۱۶، ۹۹، ۷۷ و ۵۳ میلیمتر می‌باشد.

- روابط موجود برای محاسبه نیروی محوری خط لوله برآورد خوبی از این نیرو می‌دهد مشروط به این که خط لوله بطور کامل مهار شده باشد. کوچکترین تغییر مکان بکوک مهار باعث کاهش نیروی محوری خط لوله می‌شود.
- در اثر افزایش دما و فشار خط لوله، بلوک مهار کمی جابجا می‌شود. میزان این تغییر مکان به تغییرات فشار و دمای خط لوله، ابعاد بلوک مهار و جنس خاک وابسته می‌باشد.
- نیروی وارد بر بلوک مهار به دلیل تغییر مکان بلوک بطور قابل ملاحظه ای کمتر از نیروی محاسباتی می‌باشد. میزان کاهش این نیرو به میزان جابه‌جایی بلوک مهار وابسته است.
- اصطکاک بین بلوک مهار و خاک اطراف آن (نیروی اصطکاک) و فشار خاک پشت بلوک (نیروی پسیو)، نیروهای مقاوم در برابر نیروی محوری خط لوله می‌باشند. با توجه به این که نیروی اصطکاک در تغییر مکان کمتری نسبت به نیروی پسیو بسیج می‌شود میزان مشارکت این نیروها در کنترل جابه‌جایی بلوک متفاوت است. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که در فشار ۷۲ بار و اختلاف دمای ۴۵ درجه سانتیگراد، نیروی اصطکاک تقریباً بطور کامل بسیج می‌شود در حالیکه نیروی پسیو بطور کامل بسیج نمی‌شود.
- در روش متداول طراحی بلوک مهار، نیروی محوری خط لوله با فرض عدم جابه‌جایی بلوک مهار محاسبه می‌شود. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که نیروی وارد به بلوک مهار به میزان قابل توجهی از این نیرو کمتر است.
- به منظور کاهش ابعاد بلوک مهار روش جدیدی برای طراحی بلوک مهار تدوین شده‌است که در آن کاهش نیروی محوری در اثر جابه‌جایی بلوک مهار در نظر گرفته می‌شود.

## ۷- مراجع

- [1] Peng, L. C. "Stress analysis methods for underground pipelines", *Pipe Line Industry*, 47(5), pp.65-74, (1978).

- [14] Das, B. M. “Principles of foundation engineering”, Cengage learning, (2015).
- [15] Fang, H. Y. “Foundation engineering handbook”, Springer Science & Business Media, (2013).
- [16] Vasseghi A. “Final research report on optimum design of anchor blocks”, Iranian Gas Engineering and Development Company, (2013), (in Persian)
- [12] Iranian Ministry of Petroleum “Iranian Seismic Design Code for Petroleum Facilities and Structures” Code no. 038, 3rd Edition (2016).
- [13] Wijewickreme, D., Karimian, H., & Honegger, D. “Response of buried steel pipelines subjected to relative axial soil movement”, Canadian Geotechnical Journal, 46(7), pp.735-752, (2009).

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

*A. Vasseghi, M. Kermani, M. Arzani shahni, M. Heydari khavas. A New Design Method for Anchor Blocks of Gas Transmission Pipelines, Amirkabir J. Civil Eng., 53(4)(2021): 1443-1458.*

DOI: [10.22060/ceej.2019.16953.6406](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.16953.6406)



