

مقایسه برآورد فشار وارده بر سیستم نگهداری تونل های سنگی با استفاده از روش های تجربی

سعید یاور زاده^۱، حسن مومیوند^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد استخراج معدن گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه، syavarzadeh@gmail.com
۲- استادیار دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه، کیلومتر ۱،۵ جاده سرو، کد پستی ۳۳۱۱۱-۵۷۱۶۹، h.moomivand@mail.urmia.ac.ir

چکیده

روش های تجربی برآورد فشار وارد بر سیستم نگهداری تونل در طی دهه ها براساس تجربه و تماس مستقیم مهندسان مکانیک سنگ با توده سنگ حاصل شده است. در هر یک از روش های تجربی پارامترهای ویژه ای از توده سنگ در برآورد فشار وارد بر سیستم نگهداری تونل، دخالت داده می شود که گاهاً پارامترها کمتر با هم شبیه هستند. در این تحقیق با استفاده از داده های واقعی تونل های سنگی به صورت مطالعات موردی، فشار وارد بر سیستم نگهداری تونل به روش های مختلف برآورد گردید. نتایج نشان داد که برآورد مقدار فشار وارد بر سیستم نگهداری در روش های مختلف تفاوت قابل توجهی دارد. بیشترین مقدار فشار توسط دو روش گریمستد و بارتن، و ترزاقی در سه تونل دارای وضعیت ژئوتکنیکی مختلف برآورد شد. مقدار فشار وارد بر سیستم نگهداری در اغلب روش ها با افزایش قطر تونل افزایش می یابد اما در روش گریمستد و بارتن، قطر در برآورد مقدار فشار وارد بر سیستم نگهداری تأثیر ندارد.

کلمات کلیدی: برآورد فشار، تونل سنگی، روش های تجربی، سیستم نگهداری

Comparison Between Estimating Pressure On Tunnel Support System Using Empirical Methods

S. Yavarzadeh
H. Moomivand

Abstract

Estimating pressure on tunnel support system using empirical methods have been obtained from direct experiment of rock mechanics engineers with rock mass. Particular parameters of rock mass are incorporated to estimate pressure on tunnel support system using empirical methods as such a parameters are less similar. Pressure on tunnel support system was estimated by various empirical methods using real data of rock tunnel from case studies in this research. The results showed that estimating pressure on tunnel support system had considerably different using various methods. The highest value of pressure on tunnel support system was estimated using Grimstad and Barton, and Terzaghi methods in three tunnels of different geotechnical conditions. The value of estimating pressure on tunnel support system increases with an increase of tunnel diameter in most method but the tunnel diameter has no effect on estimating pressure on tunnel support system for Grimstad and Barton method.

Keywords: Pressure, Rock Tunnel, Support System

مقدمه

به رغم وجود روش های مختلف همچون روش های عددی برای تحلیل پایداری و فشار وارده از طرف توده سنگ به سیستم نگهداری و مزایای ویژه آنها، با توجه به ناهمگن بودن توده های سنگ برجا و ناگزیر بودن از فرضیات ساده سازی در آن روش ها، برآورد بار وارد بر سیستم نگهداری تونل های سنگی به روش های تجربی می تواند مفید باشد. یکی از مهمترین پارامترهای تاثیر گذار روی انتخاب سیستم نگهداری، مقدار بار پیش بینی شده می باشد. در روش تجربی برای محاسبه کمیت سیستم نگهداری لازم برای جلوگیری از ریزش و ناپایداری سنگ ها بایستی بار وارده بر سیستم نگهداری تخمین زد. با توجه به اینکه توده های سنگ بسیار ناهمگون و ناهمسانگرد هستند، برای تعیین بار وارد بر سیستم نگهداری فرمول جامعی وجود ندارد که همه ویژگی های مؤثر توده در مقدار برآورد فشار وارد بر سیستم نگهداری تونل لحاظ نماید. فرمول های مختلف توسط محققین به صورت تجربی ارائه شده است که هر یک دارای پارامتر های ویژه ای هستند [۱]-[۲]-[۳]-[۴]-[۵]-[۶]. در این تحقیق فشار وارده بر سیستم نگهداری تونل های سنگی با استفاده از روش های تجربی به صورت مطالعه موردی در سه تونل برآورد و مقایسه شده است.

روش های تجربی برآورد بار وارد بر سیستم نگهداری تونل

روش های تجربی برآورد فشار وارد بر سیستم نگهداری تونل در شرایط مختلف توده سنگ حاصل شده اند. انواع مختلف

این روش ها به شرح زیر هستند.

- ۱- روش ترزاقی [۴]
- ۲- روش بینیاوسکی [۳]
- ۳- روش گریمستد و بارتن [۲]
- ۴- روش سینگ و همکاران [۱]
- ۵- روش پروتودیاکونوف [۵]-[۶]
- ۶- روش اورلینگ [۵]-[۶]

روش ترزاقی

هدف اصلی از ارائه این روش تخمین بار وارده بر قابهای فولادی در تونل ها براساس نوع توده سنگ بوده است. ارتفاع بار سنگ در سقف تونل با استفاده از وضعیت توده سنگ بعنوان تابعی از عرض و ارتفاع تونل برآورد می شود.

$$H_p = K(B + H_t) \quad (1)$$

$$\sigma_t = \gamma H_p \quad (2)$$

که در آن

H_p : ارتفاع بار وارده بر سیستم نگهداری (متر)

H_t : ارتفاع تونل (متر)

K : ضریبی است که مبین توده سنگ در بر گیرنده تونل و با استفاده از طبقه بندی ارائه شده توسط ترزاقی [۴] تعیین می شود.

B : عرض تونل (متر)

σ_t : تنش وارد شده بر سقف تونل (تن بر متر مربع)

روش گریمستد و بارتن

این روش براساس تجارب حاصل از تونل های نسبتاً عمیق و پر تنش در سنگ های سخت کشورهای اسکاندیناوی توسط گریمستد و بارتن [۲] بدست آمده است. در این روش بار وارد بر سیستم نگهداری با استفاده از طبقه بندی Q چنین تعریف می شود:

$$P_{proof} = \frac{2}{3} \times \frac{\sqrt{J_n}}{J_r} Q^{\frac{-1}{3}} \quad \text{برای } n \leq 3 \quad (3)$$

$$P_{roof} = \frac{2}{J_r} Q^{-1} \quad \text{برای } n > 3 \quad (4)$$

که در آن

P_{roof} : فشار وارد بر سقف (کیلو گرم بر سانتیمتر مکعب)

J_n : عدد معرف دسته درزه ها

J_r : عدد معرف زبری سطح درزه ها

n : تعداد دسته درزه ها

روش بیناوسکی

در روش بیناوسکی [۳] فشار وارد بر سیستم نگهداری با استفاده از طبقه بندی RMR چنین تعریف می شود

$$h = \left(\frac{100 - RMR}{100} \right) B \quad (5)$$

$$\sigma_t = \gamma h = \gamma \left(\frac{100 - RMR}{100} \right) B \quad (6)$$

که در آن

h : ارتفاع بار بار وارده بر سیستم نگهداری (متر)

B : عرض تونل (متر)

روش سینگ و همکاران

سینگ و همکاران [۱] رابطه ای براساس RMR به صورت زیر ارائه کرده اند.

$$\sigma_t = \frac{7.5 B^{0.1} H^{0.5} - RMR}{20 RMR} \quad (7)$$

که در آن

σ_t : تنش وارد شده بر سقف تونل (مگاپاسگال)

h : ارتفاع روباره (متر)

B : عرض تونل (متر)

روش پرتودیاکونوف

برای تخمین بار وارده بر سیستم نگهداری روابطی توسط پرتودیاکونوف ارائه شده است که به دو روش فشار موثر بر تونل برآورد می شود.

روش اول: قوس فشار موثر بر سقف تونل به صورت گنبد سهمی گون است طوری که قاعده سهمی گون به دو طرف دیواره های تونل گسترش می یابد. میزان گسترش به زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) و ارتفاع تونل بستگی دارد.

$$f = \frac{\sigma_c}{100} \quad (8)$$

$$h = \frac{b}{2f} \quad (9)$$

$$b = B + 2H_t \left(\tan 45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (10)$$

$$h = \frac{B + 2H_t \left(\tan 45 - \frac{\phi}{2} \right)}{2f} = \frac{50 \left(B + 2H_t \left(\tan 45 - \frac{\phi}{2} \right) \right)}{\sigma_c} \quad (11)$$

$$\sigma_t = \gamma \frac{2}{3} h = \frac{100\gamma \left(B + 2H_t \left(\tan 45 - \frac{\phi}{2} \right) \right)}{3\sigma_c} \quad (12)$$

روش دوم: قوس فشار موثر بر سقف تونل به صورت گنبد سهمی گون است

$$h = \frac{B}{f} = \frac{B}{\frac{\sigma_c}{100}} = \frac{50B}{\sigma_c} \quad (13)$$

$$\sigma_t = \gamma \frac{2}{3} h = \gamma \frac{100B}{3\sigma_c} \quad (14)$$

که در آن

h : ارتفاع قوس فشار به صورت گنبد سهمی گون (متر)

σ_c : مقاومت فشاری یک محوری (کیلو گرم بر سانتیمتر مکعب)

B : عرض تونل (متر)

H_t : ارتفاع تونل (متر)

σ_t : فشار وارد شده بر سقف تونل (تن بر متر مربع)

روش اورلینگ

در روش اورلینگ فشار وارد شده بر سقف تونل به صورت زیر بر آورد می شود.

$$\sigma_t = \gamma h = \gamma B \alpha \quad (15)$$

که در آن

α : ضریب بار گذاری به تشکیلات توده سنگ بستگی دارد. مقدار آن در شریط عادی بین ۰,۲۵ تا ۰,۵ است اما برای توده سنگ سقف بد و درز های زیاد ممکن است بین ۱ تا ۲ باشد.

برآورد فشار وارد بر سیستم نگهداری به روش های مختلف تجربی براساس مطالعات موردی

فشار وارد بر سیستم نگهداری به روش های مختلف تجربی با استفاده از داده های اندازه گیری شده از سه تونل به صورت مطالعه موردی به شرح زیر برآورد شد.

تونل انحراف آب سد آغ چای با مقطع دایره با قطر ۵ متر [۷]

تونل انحراف آب سد مخزنی ساروق با مقطع دایره با قطر ۵ متر [۹]

تونل انحراف آب سد گورک با مقطع دایره با قطر ۵ متر [۹]

داده های اولیه مربوط به تونل های سد آغ چای و سد ساروق مطابق جدول (۱) است. فشار وارده بر سیستم نگهداری به روش های مختلف برای تونل انحراف آب سد ساروق به ترتیب در جدول (۲) و جدول (۳) نشان داده شده است. داده های جدول (۲) و جدول (۳) به ترتیب در شکل (۱) و (شکل ۲) رسم شده اند. برآورد فشار وارده بر به سیستم نگهداری در روش های مختلف تفاوت قابل توجهی دارند (شکل ۱! و شکل ۲). فشار وارده بر سیستم نگهداری به دو روش گرمسند و بارتن، و ترازقی بیشتر از روش های دیگر است. با افزایش قطر تونل فشار وارده بر سیستم نگهداری در اغلب روش های مختلف افزایش می یابد اما در روش و گرمسند بارتن برآورد فشار وارد به سیستم نگهداری با افزایش قطر تونل ثابت است (شکل ۳). مقدار RMR و Q مربوط به مقاطع مختلف تونل سد گورک مطابق جدول (۴) است. برآورد فشار وارد بر سیستم نگهداری در مقاطع مختلف تونل انحراف آب سد گورک در جدول (۵) نشان داده شده است. در بخش های مختلف این تونل نیز برآورد فشار وارد بر سیستم نگهداری به روش های مختلف تفاوت قابل توجهی را نشان می دهد (شکل ۴).

جدول ۱- داده های اولیه برای تونل های سد آغ چای و ساروق

نام تونل	Q	RMR	ϕ درجه	σ_c کیلو گرم بر سانتیمتر مربع	B متر	α ضریب بار گذاری
سد آغ چای	۰,۱۶	۲۷,۵	۲۲	۱۳۶,۲۵	۵	۰,۵
سد ساروق	۴,۷۳۷	۵۸	۴۵	۱۸۰,۷۵	۵	۰,۲۵

جدول ۲- برآورد فشار وارده بر سیستم نگهداری در تونل انحراف آب سد آغ چای

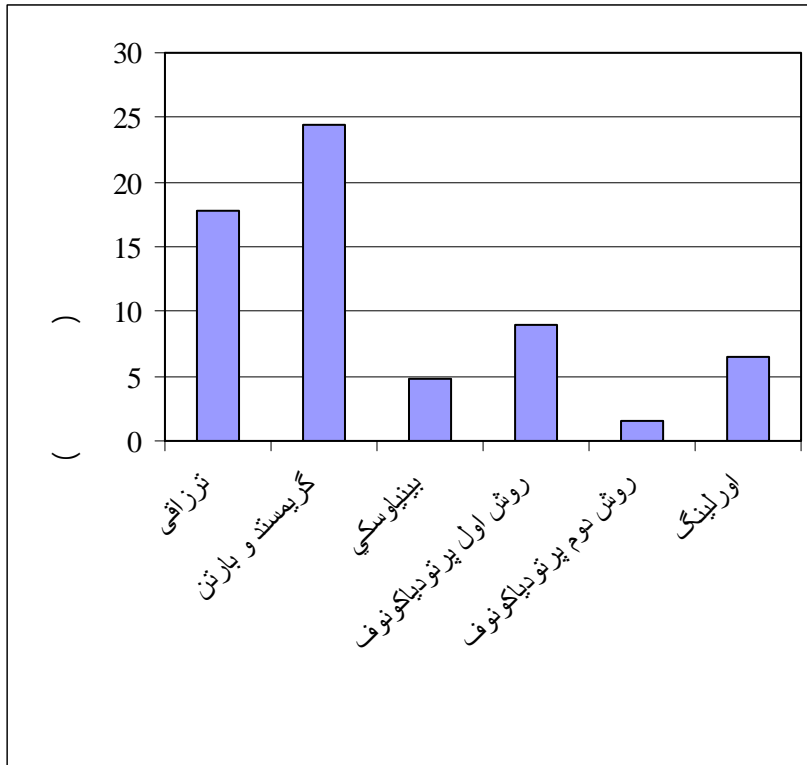
ردیف	روش ها	فشار وارده (تن بر متر مربع)
۱	ترزاقی	۱۷,۷۳
۲	گریمستد و بارتن	۲۴,۵
۳	بینیاوسکی	۴,۸
۴	روش اول پرتودیاکونوف	۸,۹۴
۵	روش دوم پرتودیاکونوف	۱,۶۲۳
۶	اورلینگ	۶,۵

جدول ۲- برآورد فشار وارده بر سیستم نگهداری در تونل انحراف آب سد ساروق

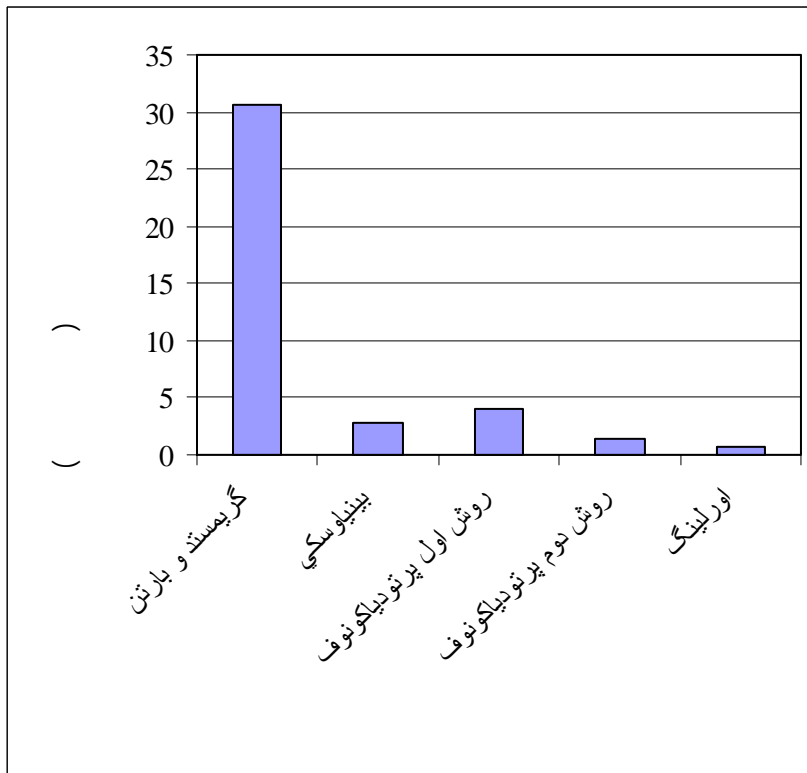
ردیف	روش ها	فشار وارده (تن بر متر مربع)
۱	گریمستد و بارتن	۳۰,۵۵
۲	بینیاوسکی	۲,۷۸
۳	روش اول پرتودیاکونوف	۳,۹۹۴
۴	روش دوم پرتودیاکونوف	۱,۳۷۴
۵	اورلینگ	۰,۶۶۲

جدول ۴- مقدار RMR و Q مربوط به مقاطع مختلف تونل سد گورک

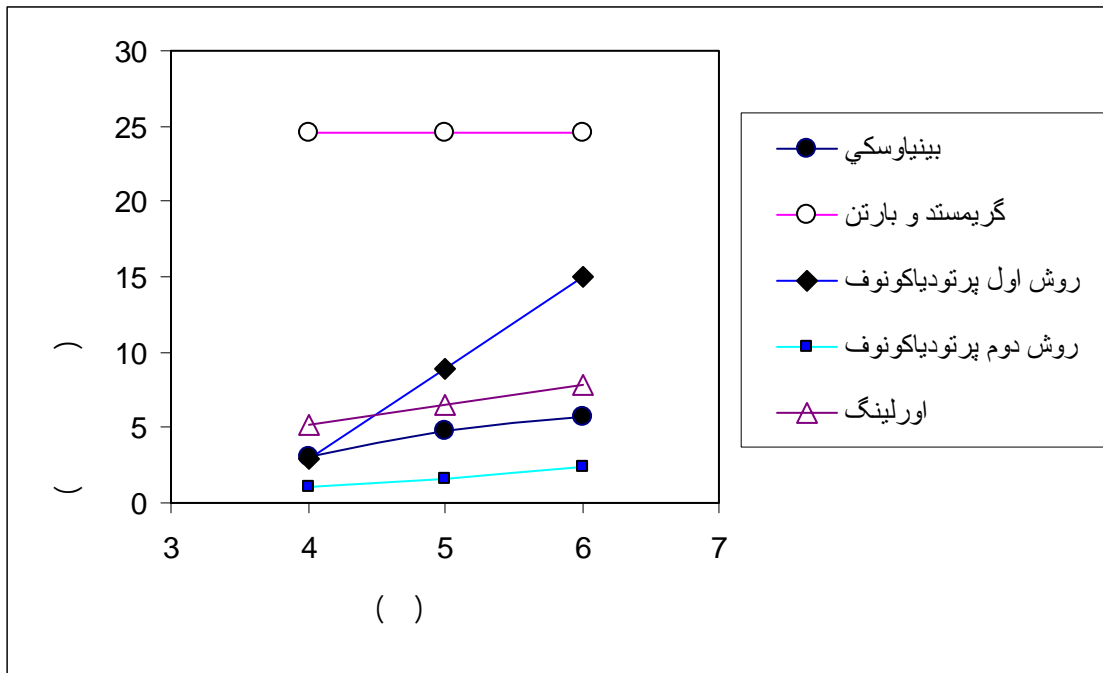
مقاطع تونل	Q	RMR
مقطع ۱	۱,۷۴	۴۸,۸۸
مقطع ۲	۳,۴۴	۵۵,۱۱
مقطع ۳	۳,۴۴	۵۵,۱۱
مقطع ۴	۱,۷۲	۴۸,۸۸



شکل ۱- برآورد فشار وارد بر سیستم نگهداری حاصل از روش های مختلف برای تونل انحراف آب سد آغ چای



شکل ۲- برآورد فشار وارد بر سیستم نگهداری حاصل از روش های مختلف برای تونل انحراف آب سد ساروق



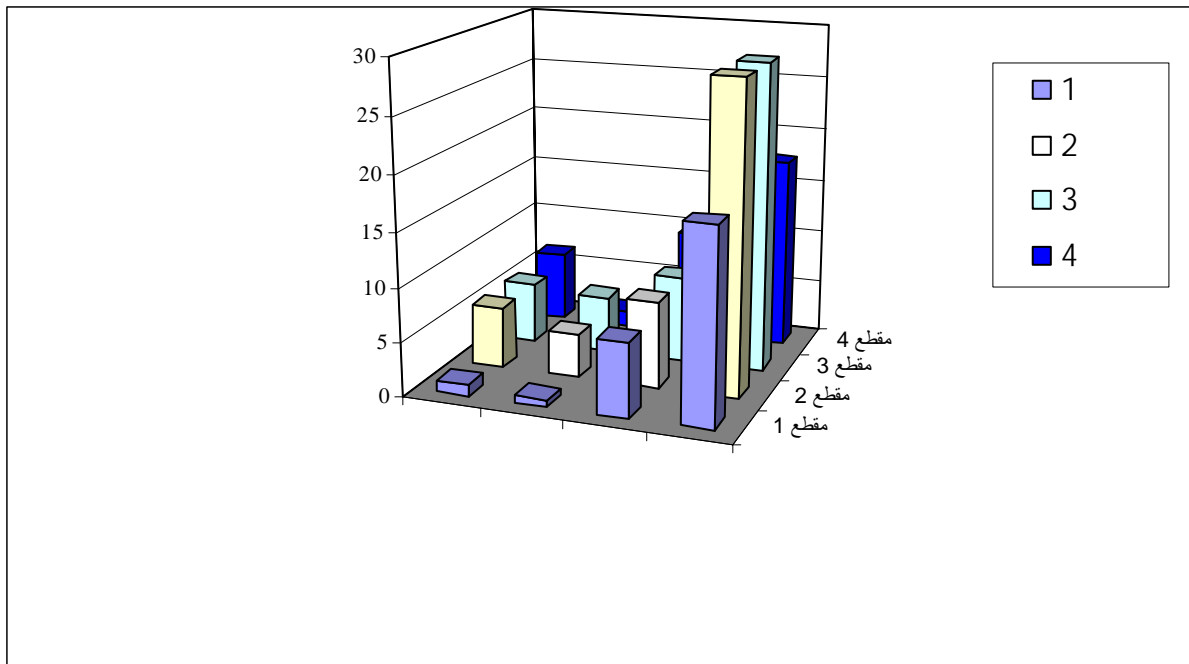
شکل ۳- تاثیر قطر تونل در برآورد فشار وارد بر سیستم نگهداری حاصل از روش های مختلف برای تونل انحراف آب سد ساروق

جدول ۵- برآورد فشار وارده بر سیستم نگهداری به روش های مختلف در مقاطع مختلف تونل انحراف آب سد گورک

روش ترزاقی	روش گرمستد و بارتن	روش بینیاوسکی	روش سینگ و همکاران	مقاطع تونل
فشار (تن بر متر مربع)	فشار (تن بر متر مربع)	فشار (تن بر متر مربع)	فشار (تن بر متر مربع)	
۱۷,۷۳	۶,۸۱	۰,۶۵۸	۱,۱۰۵	مقطع ۱
۲۸,۳۶	۷,۹۴	۴,۰۶۲	۵,۶۷۸	مقطع ۲
۲۸,۳۶	۷,۹۴	۵,۲۳	۵,۶۷۸	مقطع ۳
۱۷,۷۳	۱۰	۱,۴۵۷	۶,۴۶۵	مقطع ۴

نتیجه گیری

- ۱- برآورد مقدار فشار وارد بر سیستم نگهداری در روش های مختلف تفاوت قابل توجهی دارد. روش گرمستد و بارتن، و ترزاقی بیشترین مقدار فشار را در وضعیت ها مختلف ژئوتکنیکی برآورد می نمایند. نتیجه این تحقیق نشان می دهد برآورد فشار وارد بر سیستم نگهداری بسیار متأثر از روش به کار رفته است. مقایسه انجام شده راهنمای مفیدی برای مهندسان طراح می تواند باشد.
- ۲- مقدار فشار وارد بر سیستم نگهداری در بیشتر روش های با افزایش قطر تونل افزایش می یابد اما در روش گرمستد و بارتن قطر در برآورد مقدار فشار وارد بر سیستم نگهداری تأثیر ندارد.
- ۳- هر یک از روش های تجربی پارامتر ویژه ای از تود سنگ را در برآورد مقدار فشار وارد بر سیستم نگهداری دخالت می دهد.
- ۴- به کار گیری تنها یک روش باعث می شود، عوامل مهمی که در برآورد مقدار فشار وارد بر سیستم نگهداری مؤثر هستند کمتر لحاظ گردند.
- ۵- روش اورلینگ و پرتودیاکونوف دارای تعداد پارامتر های کمتری نسبت به روش های دیگر هستند.



شکل ۴- برآورد فشار وارد بر سیستم نگهداری به تن بر مترمربع به روش های مختلف در مقاطع مختلف تونل انحراف آب سد گورک

مراجع

- [1] Singh, B. Goel, R.K, Jetwa, J.L., Dube, A.K., 1997, *Support Pressure Assessment in Arched Underground Opening through Poor Rock Masses*, J. Eng. Geo. Vol. 48. pp. 59 – 81.
- [2] Grimstad, E. and Barton, N. 1993, *Updating the Q-System for NMT*. Proc. Int. Symp. On Sprayed Concrete - Modern use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Fagernes, (eds Kompen, Opsahl and Berg). Oslo: Norwegian Concrete Assn.
- [3] Bieniawski Z.T. 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley, New York. 251 pages.
- [4] Terzaghi, K. 1946, *Rock Defects and Loads on Tunnel Supports*. In *Rock Tunneling With Steel Supports*, (eds R. V. Proctor and T. L. White) 1, 17-99. Youngstown, OH: Commercial Shearing and Stamping Company.

[۵] اورعی، کاظم (۱۳۸۴)، نگهداری در معادن، دانشگاه صنعتی امیر کبیر،

[۶] مومیوند، حسن، (۱۳۸۱)، جزوه نگهداری در معادن، دانشگاه ارومیه.

[۷] مهندسین مشاور مهتاب قدس، (۱۳۸۰)، گزارش زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک (فاز دوم مطالعات) سد

[۸] مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، (۱۳۸۰)، گزارش زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، سد

[۹] مهندسین مشاور، (۱۳۸۵)، گزارش زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک سد