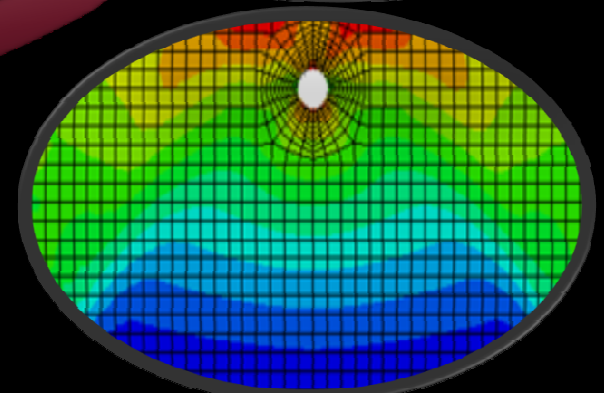
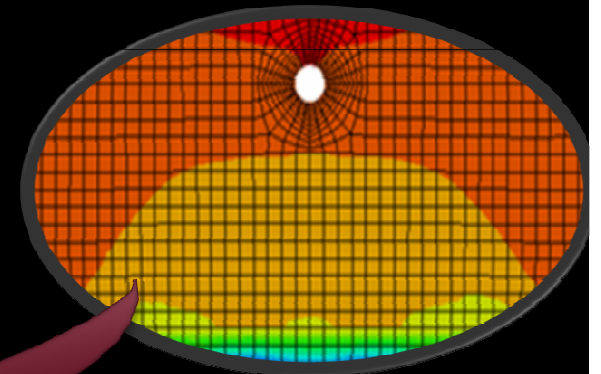
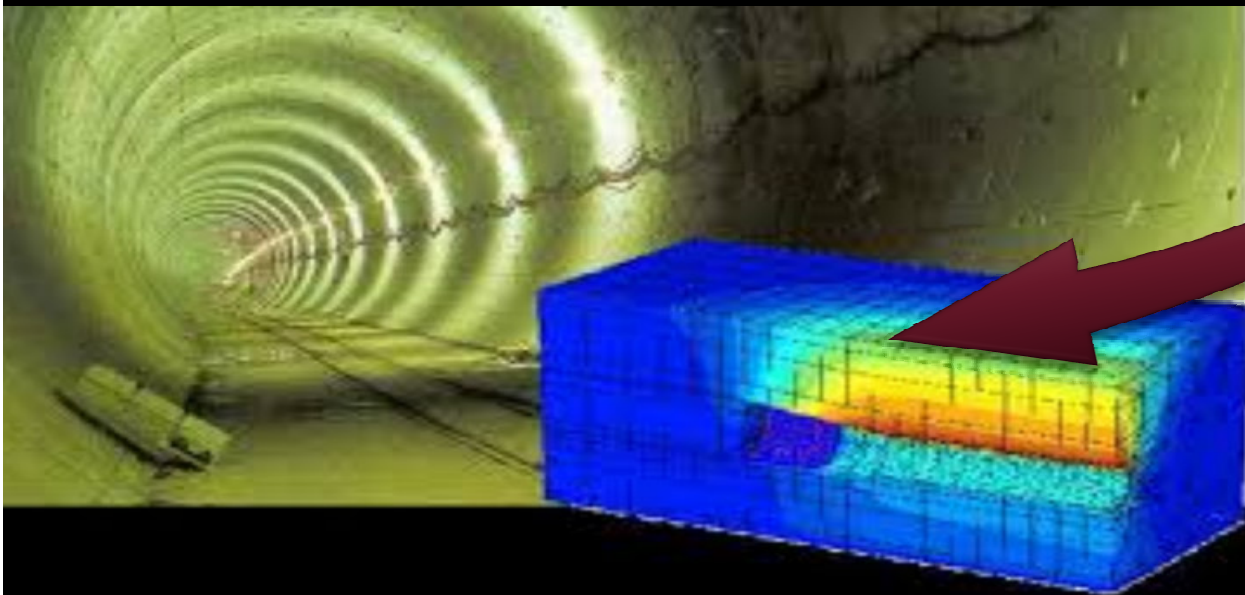




دراسة وتقييم المخاطر الزلزالية على أنفاق الخطوط الحديدية

الدكتور المهندس محمد فادي نقرش



الملخص

تعتبر أنفاق الخطوط الحديدية من أكثر المنشآت الهندسية استقراراً عند تعرضها للزلازل، ومع ذلك تعاني هذه الأنفاق من العديد من التشوهات ما لم تؤخذ بالحسبان أثناء تصميمها الهندسي.

في هذه الورقة سيتم عرض أنواع المخاطر التي تتعرض لها الأنفاق أثناء وقوع الزلازل وطرق حسابها و تقديم مقترحات التصميم المناسبة لها، بالإضافة لنتائج التحليل الزلزالي لبطانات أنفاق من البيتون المسلح باستخدام طريقة العناصر المنتهية (برنامج ABAQUS).

الكلمات المفتاحية: أنفاق المترو، التحليل الزلزالي، بطانات البيتون المسلح

محتويات البحث

١- مقدمة

٢- الطرق الرياضية في تحليل أثر الهزة على الأنفاق

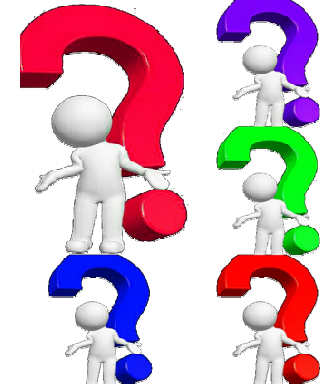
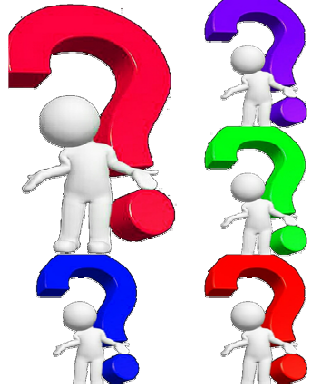
٣- الطرق العددية في تحليل أثر الهزة على الانفاق

٣-١ دراسة أثر معامل مرونة التربة

٣-٢ دراسة أثر عمق النفق

٣-٣ دراسة وجود أكثر من نفق

٤- النتائج والمقترحات



أولاً - مقدمة

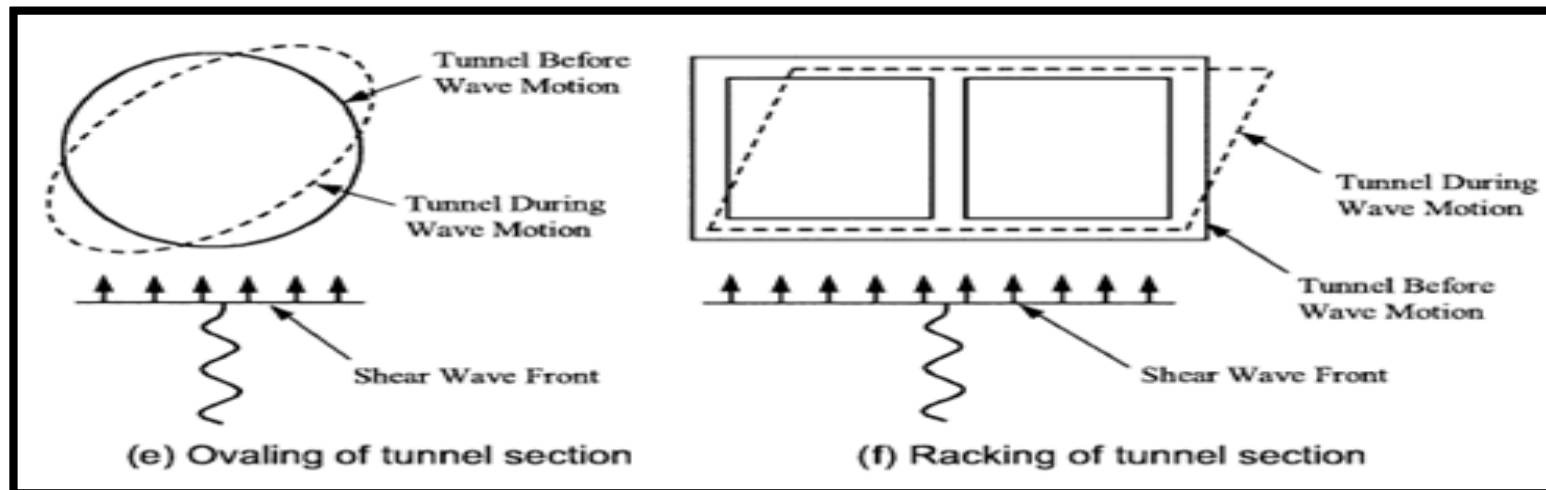
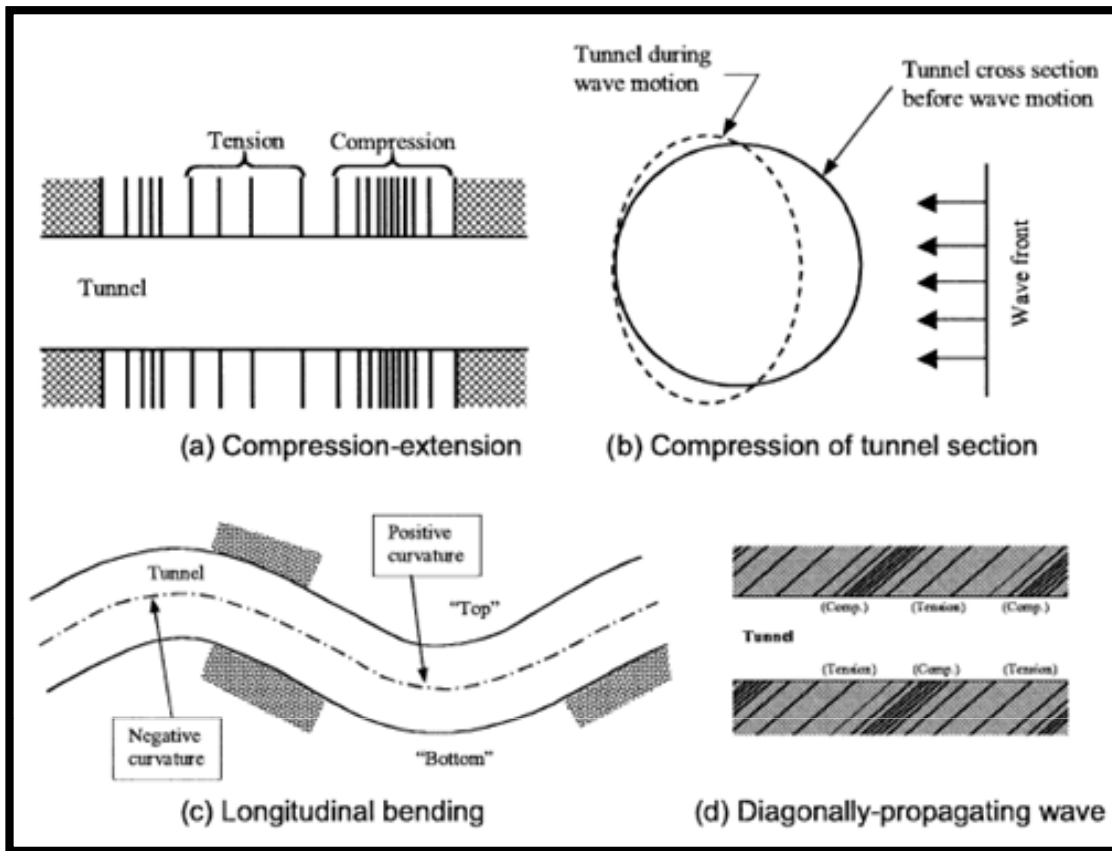
١- ما هو الفرق الأساسي بين سلوك المنشآت المطمورة ضمن التربة والمنشآت السطحية عند تعرضها للزلازل؟

٢- ماهي أصول التصميم الزلزالي للأنفاق في الهندسة الإنشائية؟

٣- ماهو المعيار المدفوع في تصميم الأنفاق لمقاومة الزلازل؟

يمكننا القول أنّ:

- ١- المنشآت المطمورة مثل الأنفاق تكون مقيدة ضمن الوسط المستمر (تربة او صخر)، وبالتالي عند وقوع زلزال تتحرك هذه المنشآت كجسم غشائي واحد مع الوسط المحيط وبالتالي لن يكون هناك خطر عليها حيث أنّ الحركة النسبية بين المنشأة والمحيط تكون معدومة
- ٢- يهدف التصميم الزلزالي للأنفاق إلى تحديد مقاومة بطانة النفق الحرجة لمقاومة أحمال الزلازل والحفاظ على تشوهاتها لتبقى في حالة الاستثمار، ومن هنا يمكن القول أن أثر الزلزال على النفق ينحصر في نقطتين وهما: أثر أمواج الزلزال على بطانة النفق و انهيار التربة المحيطة بمسار النفق.
- ٣- المعيار التصميمي الواجب التقيد به عند أخذ اثر الزلازل على الانفاق هو:
* مستوى التصميم الأعلى للحفاظ على الأرواح
* مستوى التصميم الأدنى للحفاظ على عمل النفق أثناء وقوع الزلزال.



ثانياً:
 الطرق الرياضية في
 التصميم الزلزالي
 الأنفاق

مسألة:

نفق بمقطع دائري وبطانة من البيتون المسلح
ضمن تربة وفق المواصفات التالية:

المغيرات الجيوتكنيكية:

سرعة موجة القص

$C_s=110 \text{ m/sec}$

وزن الحجمي للتربة

$\gamma=17 \text{ kN/m}^3$

معامل بواسون

$\nu=0.5$

سماكة طبقة التربة فوق الطبقة الصلبة

$H=30 \text{ m}$

متغيرات النفق:

قطر النفق

6 سماكة البطانة

$T=0.3 \text{ m}$

عزم عطالة المقطع

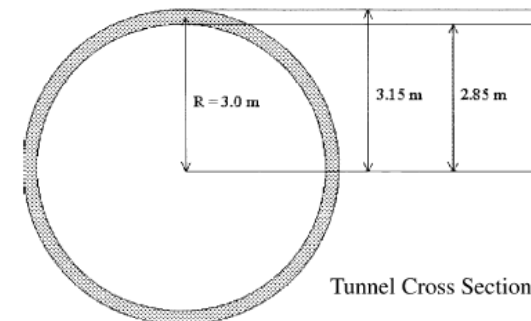
$I=12.76 \text{ m}^4$

مقاومة البيتون

$f_c=30 \text{ Mpa}$

معامل مرونة البيتون

$E_c=24340 \text{ Mpa}$



Tunnel Cross Section

حل:

كترش تركيبي معورى وشمشى طبق ريلطه زير محاسبه مىشود:

$$\varepsilon_{\max} = \pm \frac{V_i}{2C_i} \pm \frac{AR}{C_i^2} \cos^2 \theta$$

$$= \pm \frac{1}{2 \times 110} \sin(45^\circ) \cos(45^\circ) \pm \frac{0.6 \times 9.81 \times 3}{110^2} \cos^2 45^\circ$$

$$= \pm 0.0046 \pm 0.0006 = \pm 0.0051$$

ولى كترش فشارى مجاز بن:

$$\varepsilon_{\max} = \pm 0.0052 \geq \varepsilon_{\text{allow}} = 0.003$$

تخمين پريدود غالب لايه خاک:

$$T = 4H/C_i = \frac{4 \times 30}{110} = 1.09 \text{ sec}$$

تخمين طول موج ايدآل سازى شده:

$$L = T \cdot C_i = 4H = 120 \text{ m}$$

تخمين مدول برشى خاک:

$$G_u = \rho C_i^2 = \frac{17}{9.81} \times (110)^2 = 20968 \text{ kPa}$$

تعيين ضرايب سختى خاک:

$$K_i = K_u = \frac{16\pi G_u (1 - \nu_u)}{(3 - 4\nu_u)} \cdot \frac{d}{L}$$

$$= \frac{16\pi (20968)(1 - 0.5)}{(3 - 4 \times 0.5)} \times \frac{6}{120} = 26349 \text{ kN/m}$$

براى كترش معورى ميدان آزاد:

$$\frac{V_i}{2C_i} = \frac{2\pi D}{L} \rightarrow D = D_o = 0.085 \text{ m}$$

براى شمش ميدان آزاد:

$$\frac{A_i}{C_i^2} \cos^2 45^\circ = \frac{4\pi^2 D}{L^2} \rightarrow D = D_i = 0.080 \text{ m}$$

محاسبه نيروى معورى حداكتر پوشش تونل وكترش معورى

مناظر:

$$Q_{\max} = \frac{\frac{k_s L}{2\pi}}{1 + 2\left(\frac{k_s}{E_c A_c}\right)\left(\frac{L}{2\pi}\right)^2} \cdot D$$

$$= 37893 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_{\text{axial}} = \frac{Q_{\max}}{E_c A_c} = \frac{37893}{24840 \times 5.65} = 0.00027$$

محاسبه لنگر شمشى حداكتر پوشش تونل وكترش شمشى

مناظر:

$$M_{\max} = \frac{k_s \left(\frac{L}{2\pi}\right)^2}{1 + \left(\frac{k_s}{E_c I_c}\right)\left(\frac{L}{2\pi}\right)^4} \cdot D$$

$$= 63392 \text{ kN-m}$$

$$\varepsilon_{\text{bending}} = \frac{M_{\max} R}{E_c I_c} = \frac{63392 \times 10}{24840 \times 12.76} = 0.00060$$

مقايسه كترش فشارى تركيبي ناشى از نيروى معورى وشمشى

با كترش مجاز:

$$\varepsilon_{\max} = \varepsilon_{\text{axial}} + \varepsilon_{\text{bending}} = 0.00027 + 0.00060 = 0.00087$$

$$\leq \varepsilon_{\text{allow}} = 0.003 \text{ OK}$$

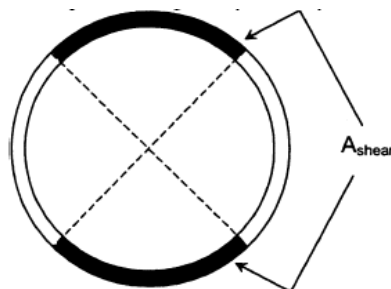
محاسبه نيروى برشى حداكتر ناشى از شمش:

$$V_{\max} = M_{\max} \frac{2\pi}{L} = 63391 \times \frac{2\pi}{120} = 3319 \text{ kN}$$

محاسبه مقاومت مجاز بن حين زلزله MDE

$$\phi V_c = 0.85 \times 2 \sqrt{f_c} A_{\text{shear}} = 2192 \text{ kN}$$

*مقايسه نيروى برشى حداكتر ايجاد شده با مقاومت برشى



ثالثاً: الطرق العددية لتصميم الزلزالي للأنفاق

الصخر:

الوزن الحجمي $\gamma_{\max} = 2200 \text{ kg / m}^3$

معامل المرونة $E_c = 1 \text{ GPa}$

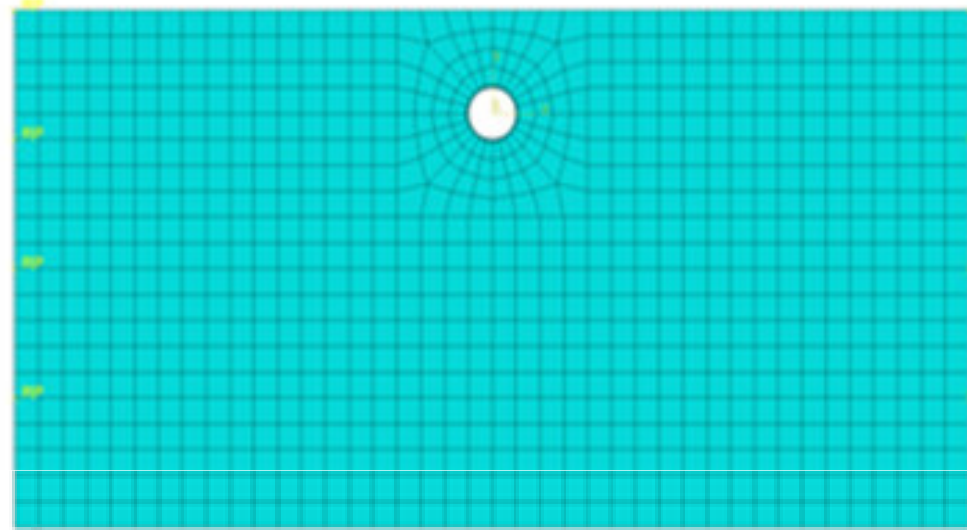
معامل بواسون $\nu_c = 0.3$

التخامد $\alpha = 0.1, \beta = 0$

زاوية الاحتكاك $\phi = 30^\circ$

تقسية التشوهات 0.8

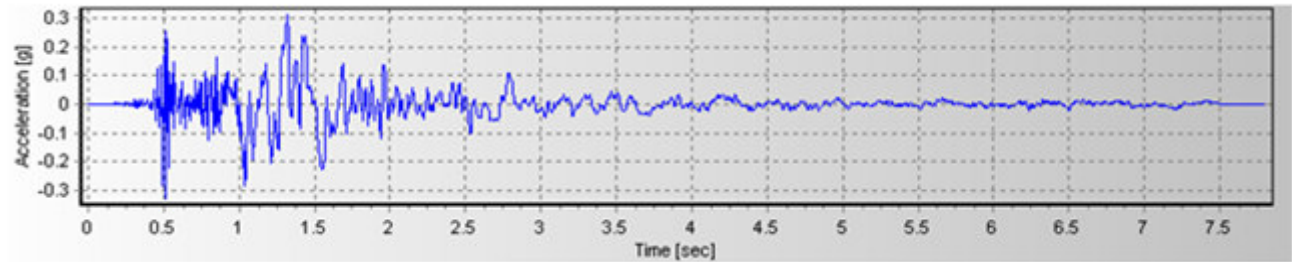
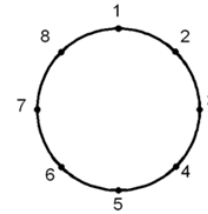
زاوية اتساع الصخر ١



معيار الانهيار

Druckverfestigung:

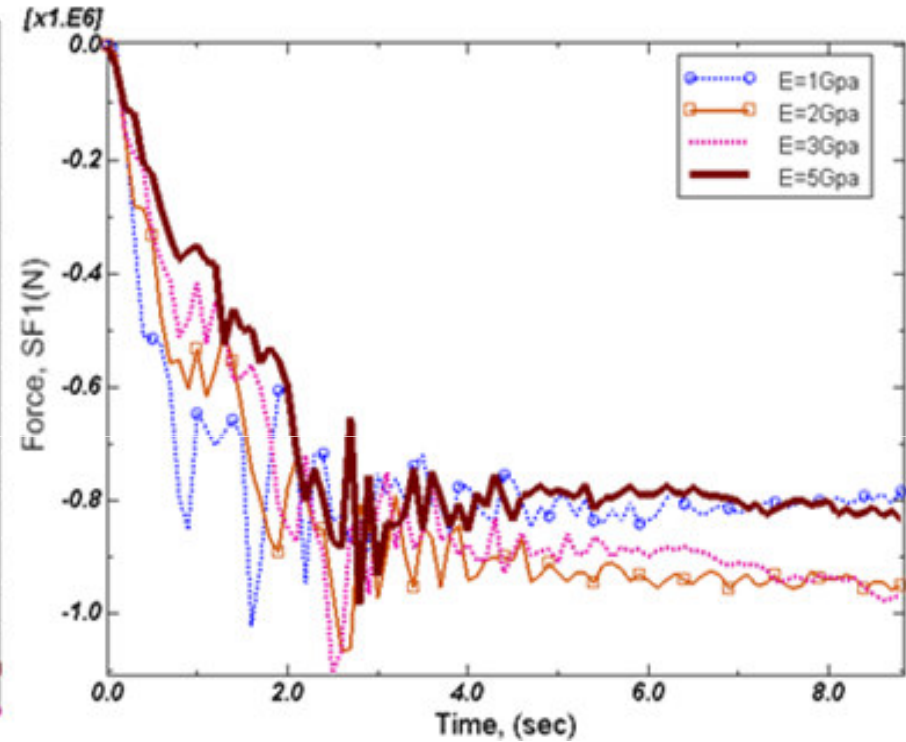
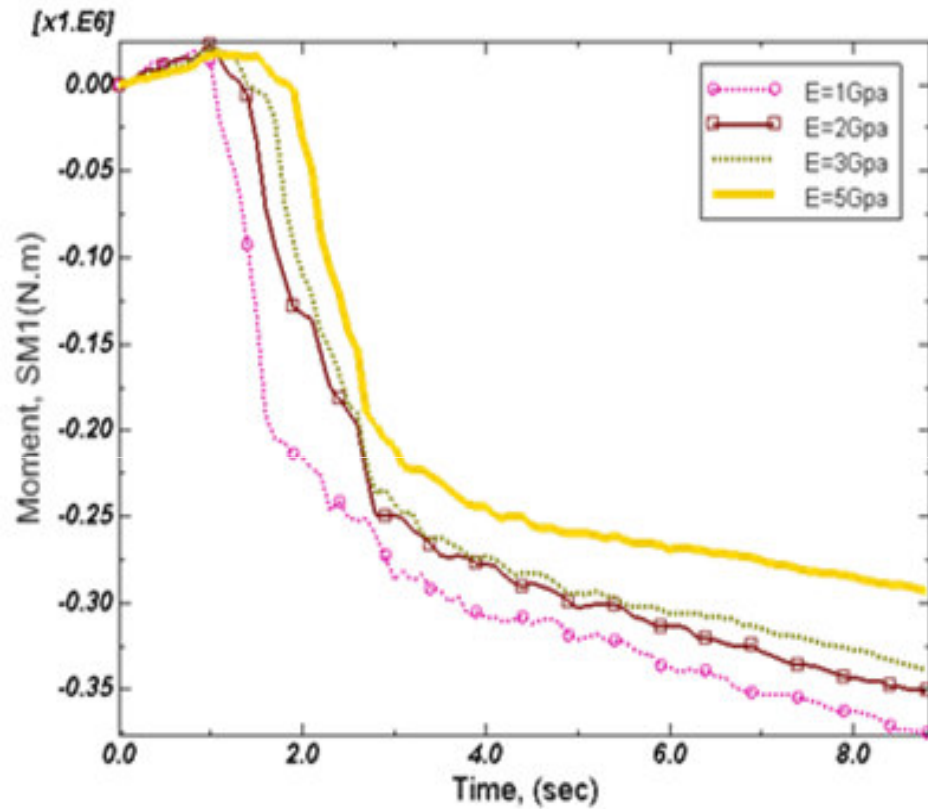
| Yield Stress (pa) | Abs Plastic Strain |
|-------------------|--------------------|
| 750000 | 0 |
| 1000000 | 0.005 |
| 1500000 | 0.01 |



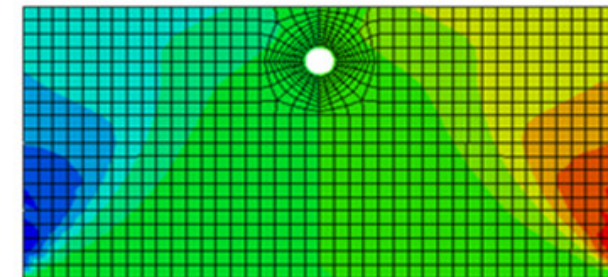
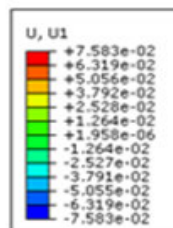
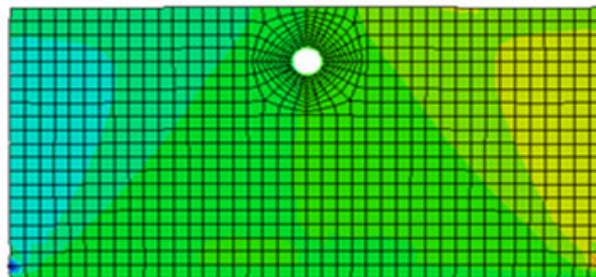
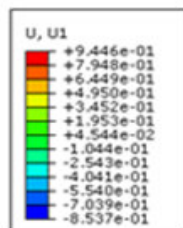
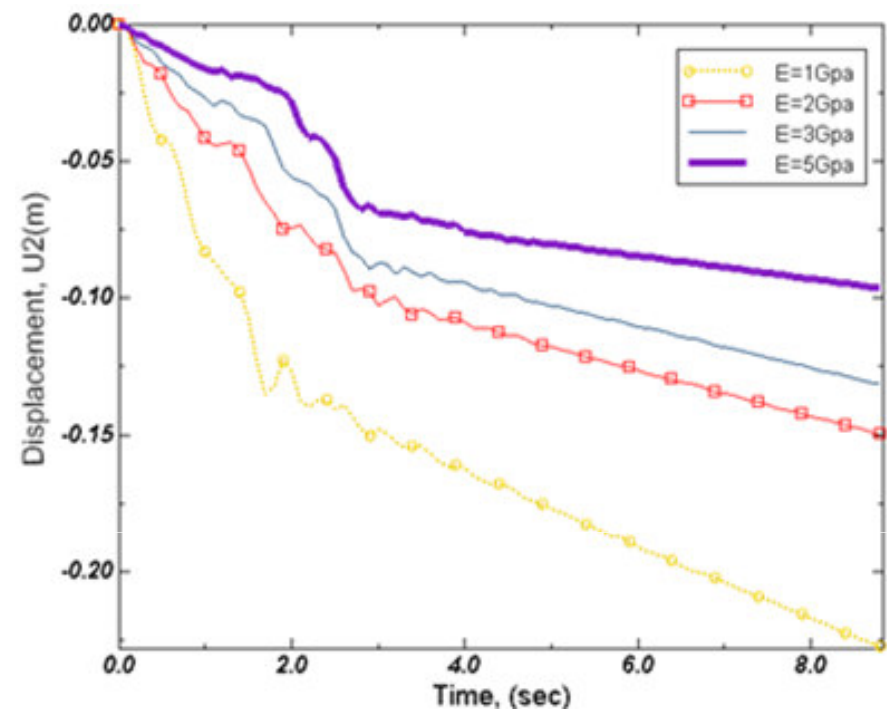
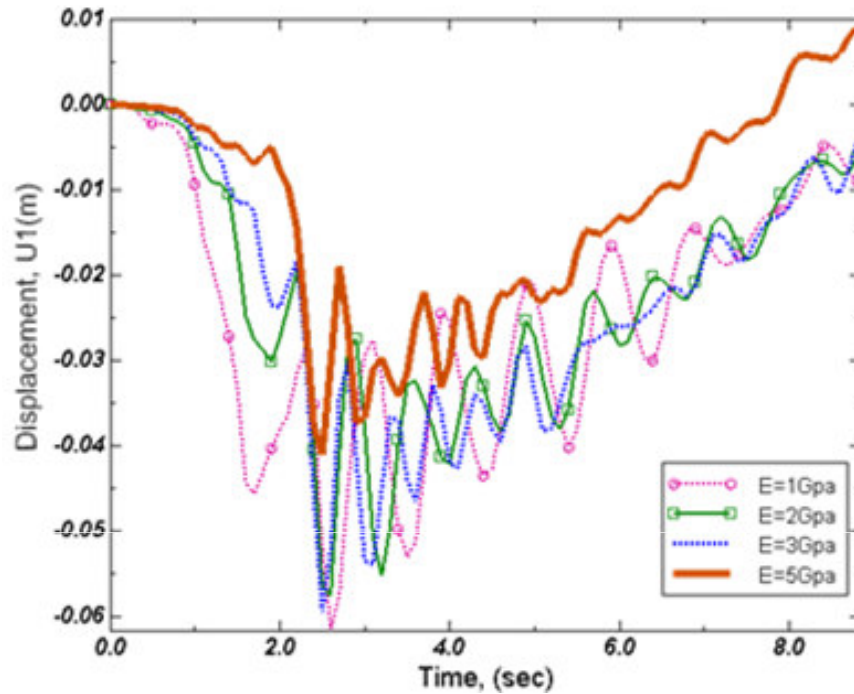
¹⁰ A4- node bilinear plane strain quadrilateral, reduced integration

¹¹ A2- node linear beam in plane

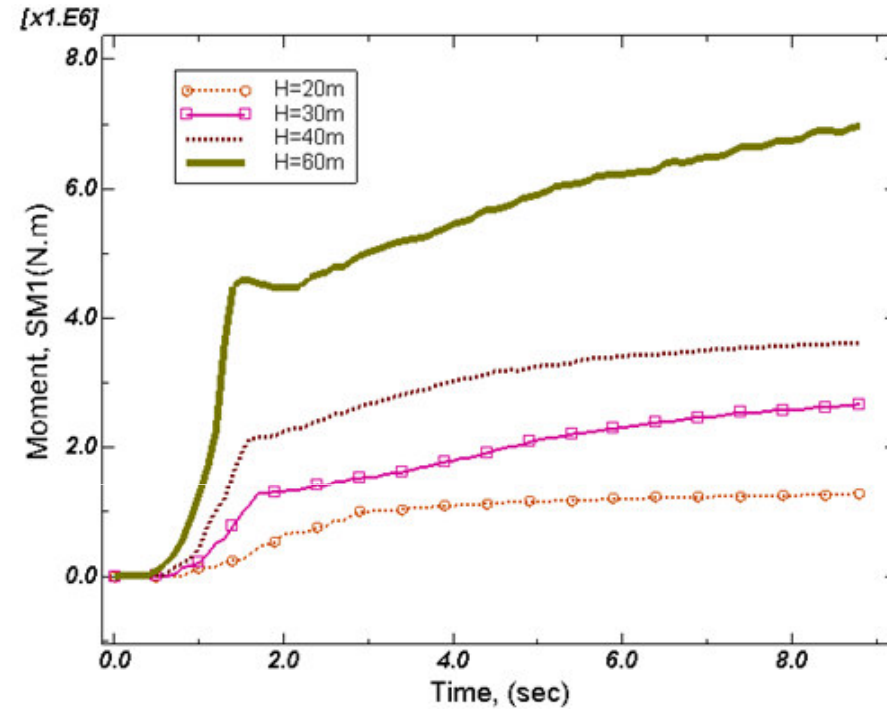
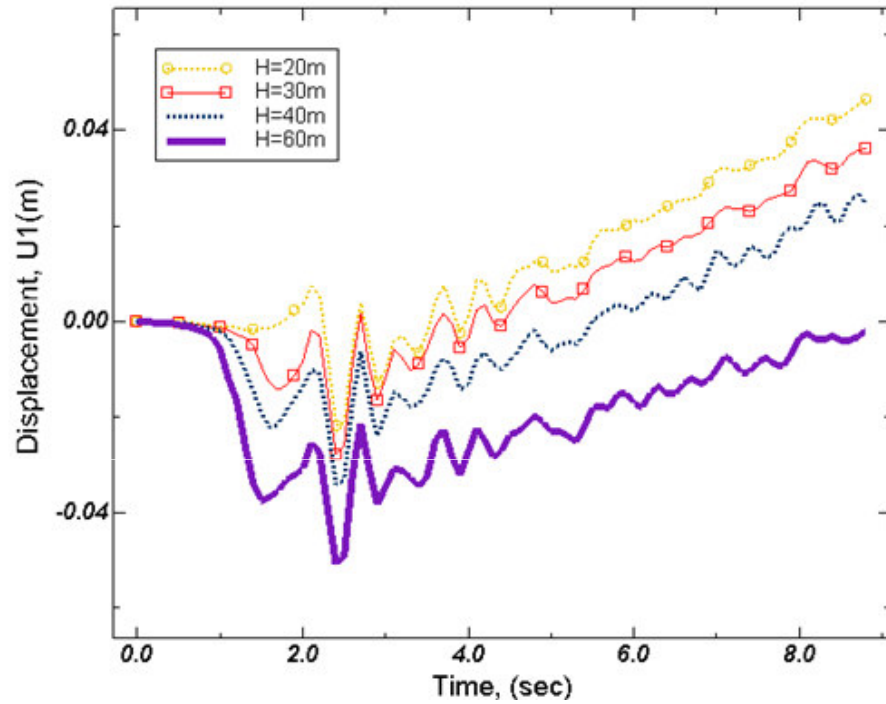
دراسة أثر معامل مرونة التربة على قيم عزوم الانعطاف والقوى المحورية المتشكلة في بطانة النفق

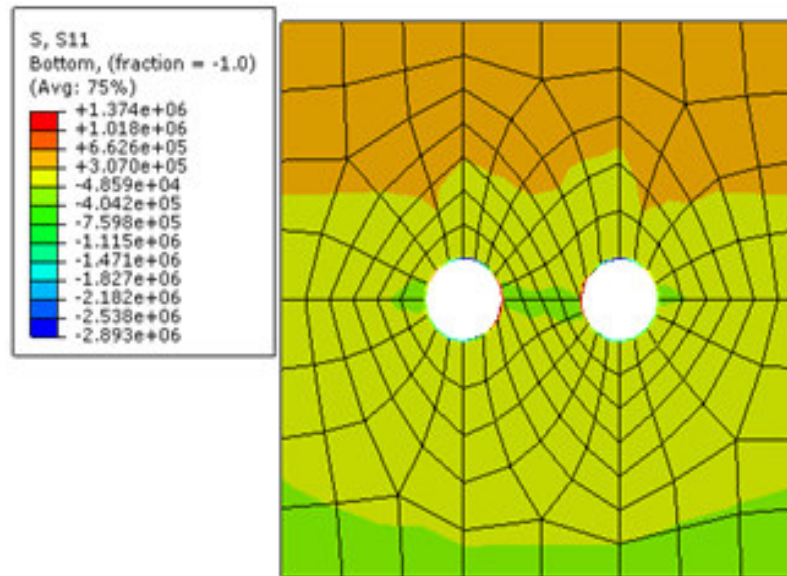
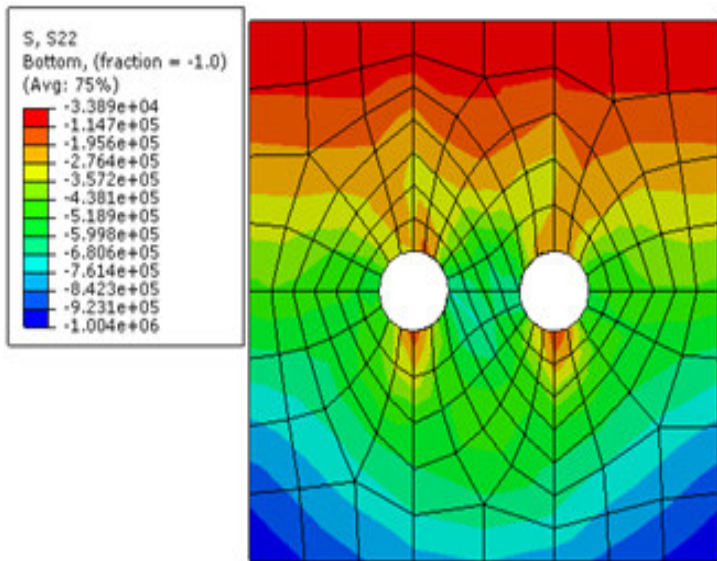


دراسة أثر معامل مرونة التربة على قيم الانتقالات المتشكلة في بطانة النفق



دراسة أثر عمق التربة على قيم الانتقالات المتشكلة في بطانة النفق



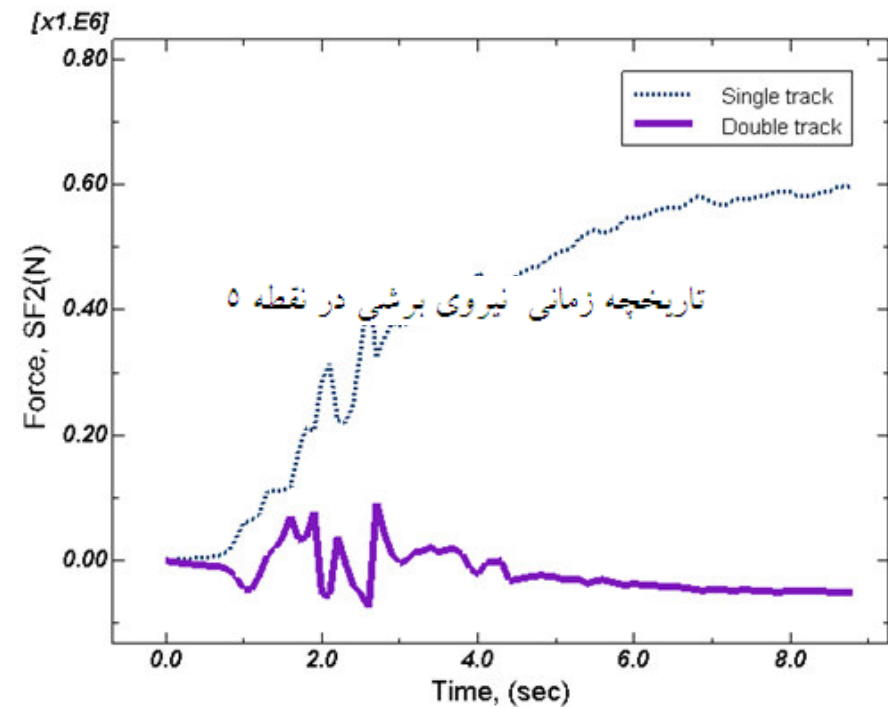
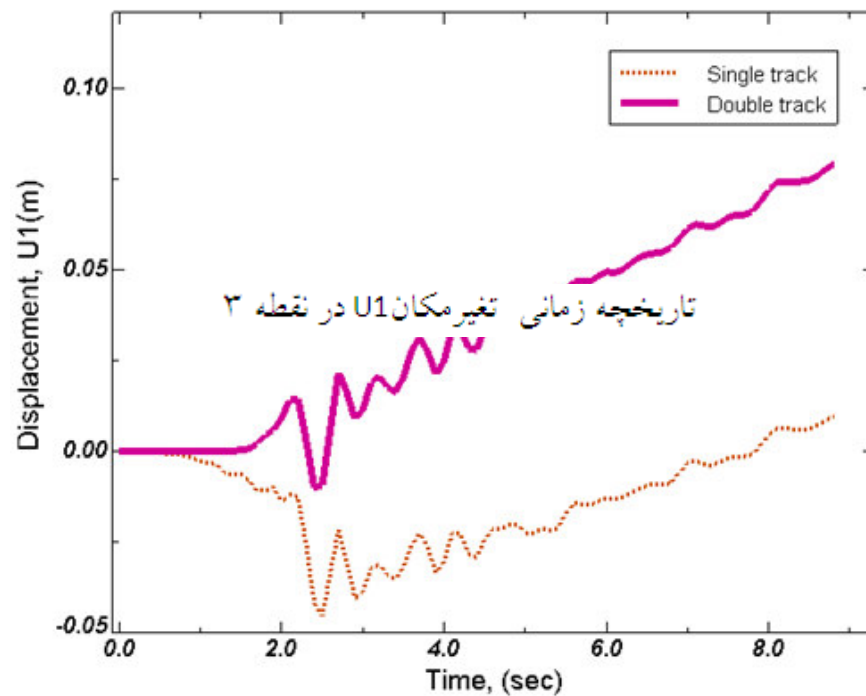


ODB: Twin-Tunnel.odb Abaqus/Explicit 6.9-1 Sun May 16 07:48:20 Iran Daylight Time 2010

Step: Step-1 GRAVITY
Increment 3381: Step Time = 1.000
Primary Var: S, S22
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e+00

ODB: Twin-Tunnel.odb Abaqus/Explicit 6.9-1 Sun May 16 07:48:20 Iran Daylight Time 2010

Step: Step-1 GRAVITY
Increment 3381: Step Time = 1.000
Primary Var: S, S11
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e+00



رابعاً: نتائج البحث

- ١- ازاحة النفق تتناقص بشدة مع تزايد معامل مرونة الصخر أو التربة
- ٢- تناقص قيم القوى المحورية وعزوم الانعطاف مع تزايد مقدار معامل مرونة التربة والصخر
- ٣- مع تزايد سماكة البطانة تتزايد القوى المحورية والقاعة وعزوم الانعطاف
- ٤- القوى المحورية والقاعة وعزوم الانعطاف في النفق الثنائي أقل منها في النفق الأحادي
- ٥- مع تقدم البرامج الحاسوبية لابد من معطيات دقيقة عن توصيف مقاطع التربة في سورية



- [1] AL-Sanchez, A.L. Fernandez-Saez, J. Navarro, C. (2009) "Simplified longitudinal seismic of tunnels linings subjected to surface waves" Soil Dynamics and Earthquake Engineering.
- [2] Anastasopoulos, I. Gerolymos, N. Drosos, V. Georgarakos, T. Kourkoulis, R. Gazetas, G. (2008) "Behaviour of deep immersed tunnel under combined normal fault rupture deformation and subsequent seismic shaking" Bull Earthquake Eng , 6:213–239.
- [2] Anastasopoulos, L. Gerolymos, N. Drosos, V. Kourkoulis, R. Georgarakos, T and Gazetas, G. (2007) "Nonlinear Response of Deep Immersed Tunnel to Strong Seismic Shaking" 10.1061 /ASCE 1090-0241
- [3] Badruddin AL-Asali (2002) "Effects of Seismic Loads on Reinforced Concrete lining of Metro Tunnels in Light of the Available Studies on Damascus Metro" Damascus- Syria
- [4] Beer, G. and Pande, GN. (1990). "Numerical Methods in Rock Mechanics" John Wiley. New York.
- [5] Brown, E.T. (1981) "Rock Characterization Testing and monitoring" ISRM Suggested Methods .Pergamon , Oxford
- [6] Degrande, G. Clouteau, D. Othman, R Arnst, M. Chebli, H. Klein, R. Janssens, B. (2006) "A numerical model for ground-borne vibrations from underground railway traffic based on a periodic finite element–boundary element formulation" Journal of Sound and Vibration 293
- [7] Hany, E. Hinchberger, S.D. El Naggar, M.H. (2008). "Simplified analysis of seismic in-plane stresses in composite and jointed tunnel linings" Soil Dynamics and Earthquake Engineering 28 ,1063,1077
- [8] Hashash, Y. M. A., Hook, J. J., Schmidt, B., and Yao, J. I.-C 2001. "Seismic design and analysis of underground structures. ", Tunneling and Underground Space Technol., 16(2001), 247–293
- [9] Jaw-Nan (Joe) Wang. (1993) "Seismic design of tunnels" New York Persons Brinkerhoff
- [10] Jian-Fei Lu, Dong-Sheng Jeng, Tsung-Lin Lee (2007). "Dynamic response of a piecewise circular tunnel embedded in a poroelastic medium" Soil Dynamics and Earthquake Engineering 27, 875–891.
- [11] Owen, G.N. & Scholl, R.E. (1981). "Earthquake engineering of large underground structures" Report no. Fhwa_RD-80_195. Federal Highway Administration and National Science Foundation.
- [12] Sati Badawi, Al-hamed, R. (1992) "Structural Analysis For Transportation Tunnels Using Matrices and Finite element Method" Syria-Damascus.
- [13] SAM Helwany , "Applied soil mechanics with ABAQUS application".
- [14] Sunil Sharma and William R. Judd (1991). "Underground opening damage from earthquakes" Earthquake Spectra, Vol. 1, No.4
- [15] St- john, C.M. Zahrah, T.F. (1987) "A seismic design of underground structures ", Tunneling and Underground Space Technology, Vol.2 No.2, PP.(165-197)
- [16] Wang. J.M.(1985) "The Distribution of Earthquake Damage to Underground Facilities During the 1976 Tangshan Earthquake" Engineering Geology 30,(263-276)
- [17] Zhao, J. (1999). "Dynamic uniaxial compression tests on granite" International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. vol.37 .pp(273-277).