

University of Mosul  
College of Engineering  
Civil Engineering Department  
Post Graduated – Geotechnical Engineering



# **Effect of Tunnel-Soil-Structure Interaction on the response of high-rise Building under Seismic Load**

A Thesis Submitted to

The Council of the College of Engineering, the University of Mosul in  
Partial Fulfilment of the Requirements for Degree of Master of Science in  
Civil Engineering / Geotechnical Engineering

Submitted by

Zaid Fathi Khalaf Al-Farhan

Supervised by

Assist.Prof. Dr. Moataz A. Al-Obaydi  
Dr. Qutayba Nazar Al-Saffar

---

---

2021 A.D.

1442 A.H

## Abstract

The main objective of this research is to study the effect of the underground structure numerically (e.g., tunnel) on the seismic performance of the nearby surface structures due to the coupled interaction Tunnel-Soil-Structure Interaction (TSSI) using the nonlinear time history analysis method with the assistance of the finite element software PLAXIS 2D package. Many parameters have been considered in this study, including; ground medium (soft soil, stiff soil, and rock), the tunnel position related to the surface structure horizontally ( $X/D=0, 1, 2, 3,$  and  $4$ ) and vertically ( $H/D=1, 2, 3,$  and  $4$ ). Therefore, also comprises the tunnel lining properties (flexible and rigid lining), the system periods (up to 10 sec.). In addition to that, the embedded depth of the surface structure has been studied. Furthermore, constructing a new proposed circular tunnel beneath Germany's Frankfurt building center (FBC) has been investigated as a case study.

The results show the importance of considering the soil-structure interaction in the analysis and design of the surface structures set on soils with a shear velocity of less than 600 m/s. The inter-storey drift (IDR) increase was 20% and 36% in the case of stiff soil ( $V_s=410$  m/s) and soft soil ( $V_s=170$  m/s), respectively, causing structure collapse compared to the fixed base.

The existence of a tunnel has a significant effect on near high-rise surface structures, and this effect could be positive or negative, according to many factors, including the soil properties, the tunnel properties, the height of the surface structures, and the position of the tunnel related to the surface structures horizontally and vertically. At shallow depths, the close tunnels ( $X<2D$ ) amplify the structure response about (5-16)% in the case of soft ( $V_s=170$  m/s) and stiff ( $V_s=410$  m/s) soil while attenuating the

response significantly about (10-50)% in case of rock medium. In contrast, the far tunnels ( $X \geq 2D$ ) cause attenuation ranged in (5-10)% in the case of soft ( $V_s=170$  m/s) and stiff ( $V_s=410$  m/s) soils, while causing significant amplification ranged in (10-35)% in the case of rock medium. At deep depths, the same trend has been observed in soft ( $V_s=170$  m/s) and stiff ( $V_s=410$  m/s) soil, while for rock medium, the tunnels cause significant attenuation of the most distances ranged in (10-50)%. It can be concluded that the location of the tunnel at ( $X/D=1$ ) is a critical location that causes negative effects in soft and stiff soils and a positive effect on rock medium. Also, the far tunnels ( $X > 4D$ ) have a negligible effect on the buildings.

Concerning the lining properties generally, the flexible tunnels amplify more than rigid tunnels by a maximum difference of 15% in case of soft ( $V_s=170$  m/s) and stiff ( $V_s=410$  m/s) soils, particularly in the case of close tunnels, whereas rigid tunnels attenuate more than flexible tunnel in the rock medium with a maximum difference about 33%. Besides, the effect of the lining properties decreased and vanished with depth. Hence, the flexible tunnel has a more hazardous effect on the buildings.

The effect of the tunnel is tremendous, whether in amplification or attenuation, and the effect decreases with periods of more than (4.0 sec.), where the amplification ratio may reach 1.5 in periods lower than (1.0 sec.) and up to 1.18 in case of periods (1.0-4.0 sec.).

The underground basement reduces the response of the structure by about half. However, the negative effect of the tunnel gets higher in the case of the one-underground basement, and the positive effect gets higher in the case of the two-underground basement, i.e., deep embedment. Thus, it is recommended to increase the embedded depth to improve buildings' seismic performance and mitigate the effect of tunnels.

The case study results confirm the findings of the parametric study, where the Frankfort tower has moderate to long periods with a two-

underground basement. The tunnel has a slight effect or a positive effect at most locations, especially the deeper depths, while the negative effect appears at 15m around the Frankfurt tower at shallow depth by about (3-10)

## المستخلص

الهدف الرئيسي من هذا البحث هو دراسة تأثير المنشآت التي تقع تحت الارض على الاداء الزلزالي للمنشآت السطحية القريبة بوجود التأثير المشترك ( تداخل تأثير النفق والتربة والمنشأ) باستخدام طريقة التحليل العددي غير الخطي بمساعدة برنامج العناصر المحددة PLAXIS 2D . تم اخذ العديد من المتغيرات بنظر الاعتبار في هذه الدراسة، وتتضمن : اوساط جيولوجية مختلفة (تربة رخوة ، تربة صلبة ، ووسط صخري)، موقع النفق افقيا ( $X/D=0,1,2,3,4$ ) وعموديا ( $H/D=1,2,3,4$ ) ، خصائص بطانة النفق (مرن وصلد) ، ارتفاع او فترة المنشأ وعمق جزء من المنشأ تحت الارض. من جانب اخر تم افتراض انشأ نفق جديد بمواقع مختلفة تحت برج فرانكفورت الواقع في المانيا كحالة تطبيقية.

اظهرت النتائج اهمية اخذ تأثير التداخل للتربة والمنشأ بنظر الاعتبار في التحليل والتصميم للمنشآت فوق الارض المشيدة على تربة بسرعة اجهاد قص اقل من 600 متر/ثانية. تظهر النتائج زيادة نسبة الازاحة الافقية بين الطوابق للمنشأ بنسب 20% و 36% في حالة التربة الصلبة ( 410 متر/ثانية ) و التربة الضعيفة (170 متر/ثانية) على التوالي ، حيث يؤدي ذلك لحدوث انهيار للمنشأ بالمقارنة مع فرضية الاساس الثابت.

كما اظهرت النتائج ايضا ان وجود النفق له تأثير ملحوظ على المنشآت العالية الارتفاع، وهذا التأثير قد يكون ايجابي او سلبي، وفقا لعدة عوامل، بما فيها خصائص التربة، خصائص النفق، ارتفاع المنشأ، وموقع النفق بالنسبة للمنشأ السطحي عموديا وافقيا. في حالة وجود النفق في الاعماق الضحلة، الانفاق القريبة ( $X < 2D$ ) تزيد من استجابة المنشأ بمقدار حوالي (5-16)% في حالتي التربة الضعيفة (170 متر/ثانية) و التربة الصلبة (410 متر/ثانية) بينما نقل الاستجابة بشكل ملحوظ بمقدار (10-50)% في حالة الوسط الصخري. على العكس في حالة الانفاق البعيدة ( $X > 2D$ ) تحدث تقليل في استجابة المنشأ بمقدار (5-10)% في حالة التربة الضعيفة والصلبة بينما تحدث تضخيم ملحوظ بنسبة (10-35)% في حالة الوسط الصخري. في حالة وجود النفق بأعماق كبيرة ، كان السلوك مشابه في الترب الضعيفة والصلبة ، بينما في الوسط الصخري، الانفاق تحدث تخميد ملحوظ لأغلب المسافات بنسبة (10-50)%.

فيما يخص خصائص بطانة النفق بشكل عام فان الانفاق المرنة اكثر تضخيم لاستجابة المنشأ من الانفاق الاكثر صلابة في الترب الضعيفة والصلبة، خصوصا الانفاق القريبة من المنشأ وبفارق مقداره 15% ، بينما الانفاق الاكثر صلابة تقلل استجابة المنشأ بشكل اكبر من الانفاق

المرنة في الوسط الصخري وبفارق مقداره 33%. كما يلاحظ ان تاثير بطانة النفق تقل وتتلاشى مع زيادة عمق النفق.

في ما يخص ارتفاع المنشأ والذي يعبر عنه بالفترة الزمنية تشير النتائج الى ان تاثير النفق يكون كبير وغير منتظم على المنشآت ذات الفترات الزمنية الاقل من (1.0 ثانية) سواء في حالة التضخيم او تخميد ويقل التاثير مع زيادة الفترة الزمنية للمنشأ ويتلاشى للمنشآت التي تملك فترات اكبر من (4.0 ثانية). حيث تصل نسبة التضخيم الى 1.5 للفترات الاقل من 1.0 ثانية بنما تصل لحد 1.18 للفترات (1.0-4.0 ثانية).

تشير النتائج ايضا الى ان زيادة عمق جزء من المنشأ تحت الارض يقلل من الاستجابة الزلزالية للمنشأ بشكل كبير يصل الى النصف، في الوقت نفسه يظهر التاثير السلبي للنفق على المنشأ المدفون بعمق 3 متر (طابق واحد تحت الارض) ، وعلى العكس يظهر التاثير الايجابي للنفق على المنشآت المدفونة بعمق 6 متر (طابقين تحت الارض).

تتوافق نتائج دراسة الحالة التطبيقية لبرج فرانكفورت (Frankfurt tower) مع دراسة الحالة العامة، حيث ان تاثير النفق المقترح كان طفيف جداً في كثير من المواقع وخصوصا الاعماق العالية ويكون غالبا تاثير ايجابي ، بينما ظهر التاثير السلبي للنفق بزيادة الاستجابة البرج بمقدار (3-10)% عند وجود النفق على بعد 15 متر عن مركز البرج.



جامعة الموصل  
كلية الهندسة  
قسم الهندسة المدنية  
ميكانيك التربة وهندسة الاسس

## تأثير التداخل بين النفق-التربة-المنشأ على تصرف الابنية العالية تحت الاحمال الدائميكية

رسالة ماجستير مقدمة الى  
مجلس كلية الهندسة في جامعة الموصل كجزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير في علوم  
الهندسة المدنية / ميكانيك التربة وهندسة الاسس

تقدم من قبل

زيد فتحي خلف ال فرحان

بإشراف

أ.م.د معتز عبد الجبار العبيدي  
د.قتيبة نزار الصفار