

TEK TÜP VE ÇİFT TÜP TBM METRO TÜNELLERİNİN DEFORMASYON MUKAYESESİ

İnş. Müh. Ümit Enes ARAT¹, Doç Dr. Mücahit NAMLI²

ÖZET

Metro projelerinin tasarım aşamasında tek tüp tünel ve çift tüp tünel seçenekleri arasındaki tercih süreci, kritik bir karar aşamasını içermektedir. Bu çalışma, (TBM) yöntemiyle açılan ve uygulanmış olan tek tüp tünel ve çift tüp tünel örnekleri göz önüne alınarak her iki tünel tipinin yapısal avantajlarını ve dezavantajlarını karşılaştırmaktadır. Tüneler Plaxis yazılımı ile üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak statik yükler altında ve aynı zemin koşullarında deformasyonlar açısından analiz edilmiştir. Üç boyutlu analiz sonuçları, çift tüp tünellerin neden olduğu yüzey deformasyonlarının, daha büyük örtü kalınlığı gibi faktörlerle tek tüp tünellerden 38% az olduğunu göstermektedir. Daha önceki literatürde, tek tüp ve çift tüp tünellerin sonlu eleman analizleri mevcut olmasına rağmen, bu çalışma iki tünel tipi için eş zemin koşulları altında karşılaştırmalı bir analiz sunarak literatüre katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: TBM, metro, tünel, plaxis, FEM.

ABSTRACT

The design phase of metro projects involves a critical decision-making process between single-tube and twin-tube tunnel options. This study compares the structural advantages and disadvantages of both tunnel types, considering examples of single-tube and twin-tube tunnels constructed using the Tunnel Boring Machine (TBM) method. The tunnels were analyzed using the Plaxis software, employing the three-dimensional finite element method under static loads and within the same ground conditions in terms of deformations. The 3D analysis results show that surface deformations caused by twin-tube tunnels are 38% less than those of single-tube tunnels, due to factors such as greater cover thickness and structural efficiency. Although finite element analyses of single-tube and twin-tube tunnels have been previously documented in the literature, this study contributes to the literature by providing a comparative analysis under equivalent ground conditions for both tunnel types..

Keywords: TBM, metro, tunnel, plaxis, FEM.

¹ İnşaat Mühendisi, PAISTECH, enesarat.ae@gmail.com (Sorumlu yazar)

² Doçent Dr., İstanbul Medeniyet Üniversitesi, mucahit.namli@medeniyet.edu.tr

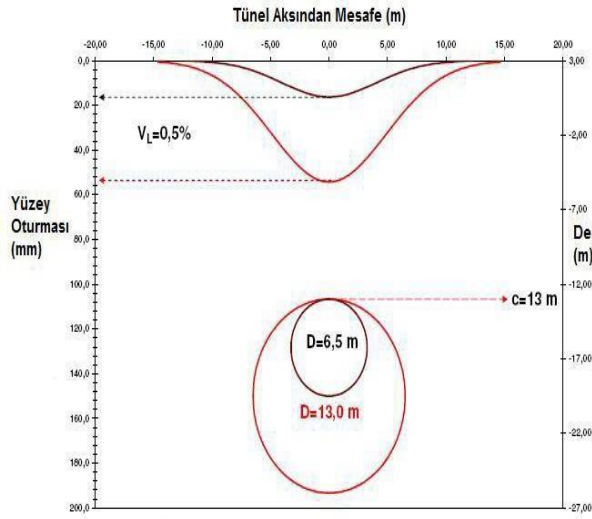


1. GİRİŞ

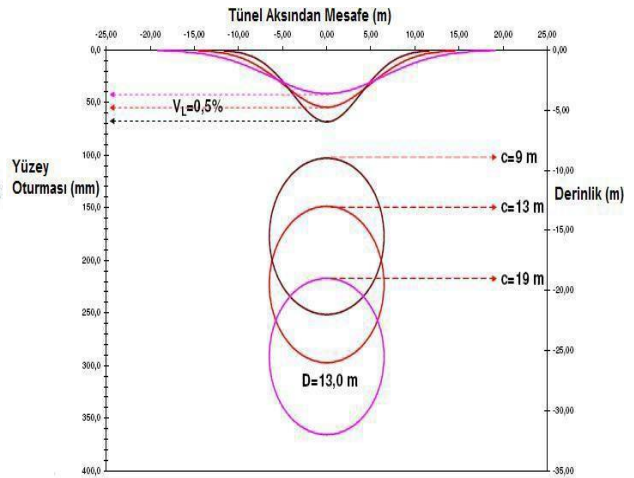
Tünel tasarımı ve yapımında yüzey oturmaları önemli bir konudur, çünkü tünel inşaatı yerleşim alanlarında yüzey oturmalarına neden olabilir ve bu da üst yapılarda ve zeminde gömülü diğer yapılar üzerinde ciddi hasarlara yol açabilir. Bu nedenle, tünel güzergahı boyunca, tünelin yüzeydeki etkisini tahmin etmek için mühendislik yaklaşımları geliştirilmiştir.

Peck (1969) tarafından önerilen ilk yaklaşım, yüzey oturmalarının arazi ölçümlerine dayalı olarak normal dağılım eğrisiyle tanımlanmasıdır. Bu yaklaşımda, yüzey oturmalarının hacmi tünel içinde meydana gelen deformasyon miktarına yaklaşık olarak eşit kabul edilir. Yani, tünelin içindeki deformasyon miktarı, yüzeydeki oturma dağılımının büyüklüğüyle ilişkilendirilir.

Yüzey oturmalarını etkileyen faktörler arasında hacim kaybı ve örtü kalınlığı gelir. Örtü kalınlığı, yani tünelin açıldığı zeminden mesafesi arttıkça yüzeyde oluşan deformasyonlarda azalma görülür, aynı şekilde eş örtü kalınlığına sahip iki farklı kesit alanında tünel için kesit alanı büyük tünelde yüzeyde oluşacak deformasyon/oturma değeri artış gösterir. (Selman,2014). Yapılan çalışma da bu yüzey oturma farkının çift tüp tünellerle mukayesesi yapıp nihai bir sonuca varılmıştır



Şekil 1a Yüzey oturması- hacim kaybı değişimi (Selman, 2014)



Şekil 1b Yüzey oturması – örtü kalınlığı ilişkisi (Selman, 2014)



2. ANALİZ

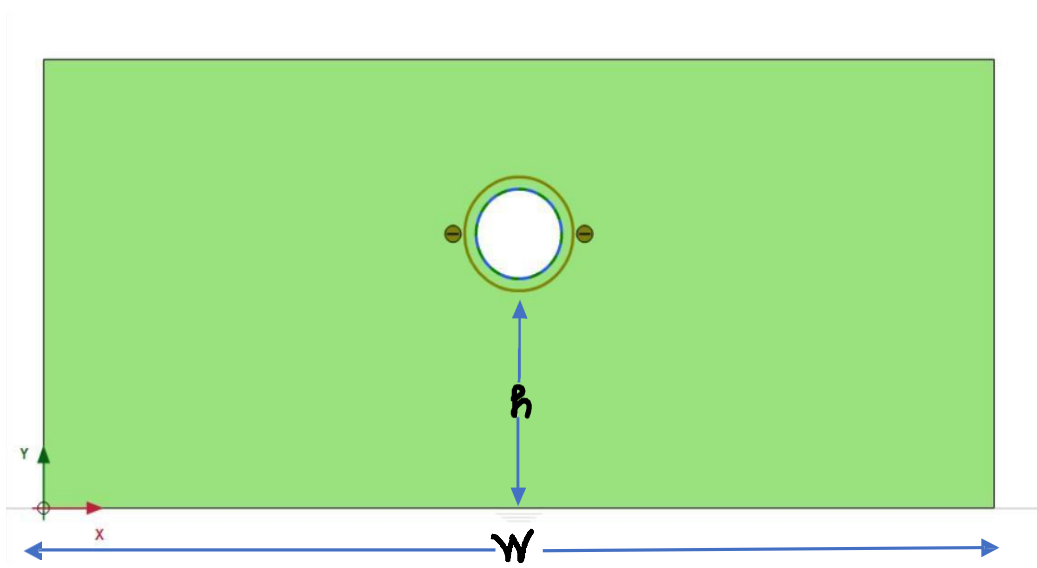
2.1 ANALİZ PROJE PARAMETRELERİ

Model Sınır Koşulları

Model sınır koşulları için aşağıda verilen iki formülü önerilmiştir. Bu formüller analizin model sınırlarından etkilenmemesini sağlamaktadır. Burada h tünel alt kotundan modelin en altına kadar olan mesafe, H model yüksekliği, W ise modelin genişliğidir (Moller,2006)

$$h = (1,5 - 2,5) * D \quad (1)$$

$$W = 2D * (1 + H/D) \quad (2)$$



Şekil 2 Moller formüllerine göre sınır koşulları

Formüllerde D= tünel çapı olmak üzere;

model boyutlarını en geniş haliyle vereceği için Tek Tüp tünelin iç çapı olan 9.5 metre çap değeri kullanılmıştır

h yüksekliği için üst sınır $2.5 * D$ seçilmiştir. $h = 2.5 * 9.5 = 23.75$; 24m olarak seçildi

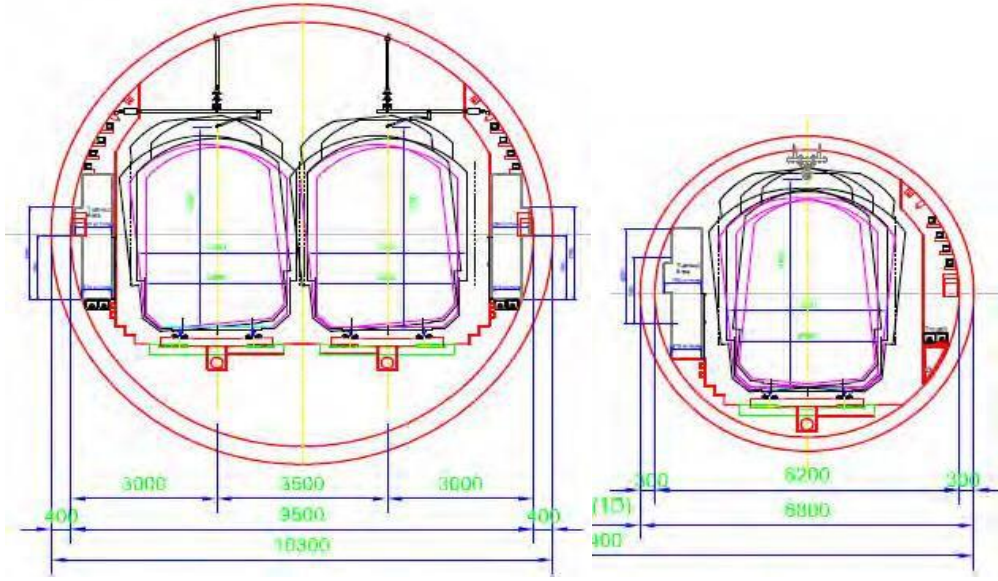
$W = 2 * 9.5 * (1 + 45/9.5) = 109$; 100m olarak seçildi

Model derinliği (Uz) ; 50m olarak seçilmiştir

Tünel taban derinliği her iki model için aynı ve 23 metre olup örtü kalınlıkları tünel çapına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Sırasıyla tek tüp tünel için $23m - 10.3m = 12.7m$, tek tüp tünel için $23m - 6.9m = 16.1m$ olarak bulunmaktadır.



Tünel Modeli Parametreleri



Şekil 3 Tek Tüp Tünel ve Çift Tüp Tünel için Kesit Özellikleri - JICA Feasibility study report

Metro aracının boyutları ve salınım parametreleri vb göz önünde bulundurularak oluşturulan minimum tünel kesitleri analizde kullanılmıştır.

Sırasıyla tünelin kaplama kalınlığı, tünel dış çapı, kaplama birim hacim ağırlığı, poisson oranı, elastisite modülü ve kayma modülü değerleri aşağıda verilmiştir

Tablo 1 Tek Tüp Tünel Parametreleri (JICA Feasibility Study Report -2010)

D_{kaplama}	m	0,4
$D_{\text{tünel}}$	m	10,30
γ	kN/m^3	24,00
ν		0,20
E	kN/m^2	4,55E+06
G	kN/m^2	1,90E+06

Tablo 2 Çift Tüp Tünel Parametreleri (JICA Feasibility Study Report -2010)

D_{kaplama}	m	0,30
$D_{\text{tünel}}$	m	6,90
γ	kN/m^3	24,00
ν		0,20
E	kN/m^2	4,55E+06
G	kN/m^2	1,90E+06



Zemin Parametreleri

Tünel analizlerinde zemin modelinin doğru seçimi, projenin başarısında büyük bir rol oynar. Yaygın olarak kullanılan zemin modelleri arasında Mohr-Coulomb ve Pekleşen Zemin Modeli (Hardening Soil Model) yer almaktadır. Yapılan araştırmalar, tünel derinliği arttıkça Pekleşen Zemin modelinin, zemin yüzeyindeki oturmaların Mohr-Coulomb modeline kıyasla daha az olduğunu ve gerçek değerlere daha yakın sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Çelik (2017)

Bu nedenle analiz için zemin modeli olarak Hardening Soil modeli tercih edildi ve kumlu kil parametreleri programa girildi. Bu parametreler Türkiye’de uygulanan bir metro çalışmasında yapılan deneyler sonucu elde edilmiştir.

Tablo 3 Zemin Parametreleri

Material Set			General Properties		
Material Model		Hardening Soil	unsat	kN/m ³	18,00
Material type		Sandy clay	sat	kN/m ³	20,00
Drainage type		Drained	ϵ_{init}		
Stiffness			Advanced Stiffness		
E_{50}^{ref}	kN/m ²	2,00E+04	ν'_{ur}		2,00E-01
E_{oed}^{ref}	kN/m ²	18000,00	p_{ref}	kN/m ²	100,00
E_{ur}^{ref}	kN/m ²	60000,00	K_0^{nc}		0,58
power(m)		0,50	Advanced Strength		
Strenght			C'_{inc}	kN/m ² /m	0,00
C'_{ref}	kN/m ²	3,00E+01	Z_{ref}		0,00E+00
ϕ (phi)		2,50E+01	R_f		9,00E-01
Ψ (psi)		0,00	Tensile strenght	kN/m ²	0,00

Analiz Aşamaları

Tek Tüp ve Çift Tüp Tüneller Plaxis 3D üzerinde her bir tüp için 9 metre ve 12 parça olarak tasarlandı. TT için 23 faz ÇT için 47 kazı ve kaplama fazı tanımlandı.

Başlangıç Fazı: Zeminde herhangi bir örselenme olmadığı durumda K0 prosedürleri altında zemin gerilmeleri hesaplanır. Kazı ve Kaplama Fazı; Tünel inşası için yapılacak kazı ve tünelin betonarme kaplaması TBM makineleri ile yaklaşık olarak eş zamanlı yapılabilmesi sebebiyle bu aşamalar aynı fazda programa tanımlandı. Böylece Bir TBM tünelinin inşa aşamaları gerçek hayata uygun olarak modellenmiş oldu.

Şekil 4 Tek Tüp Tünel ve Çift Tüp Tünel



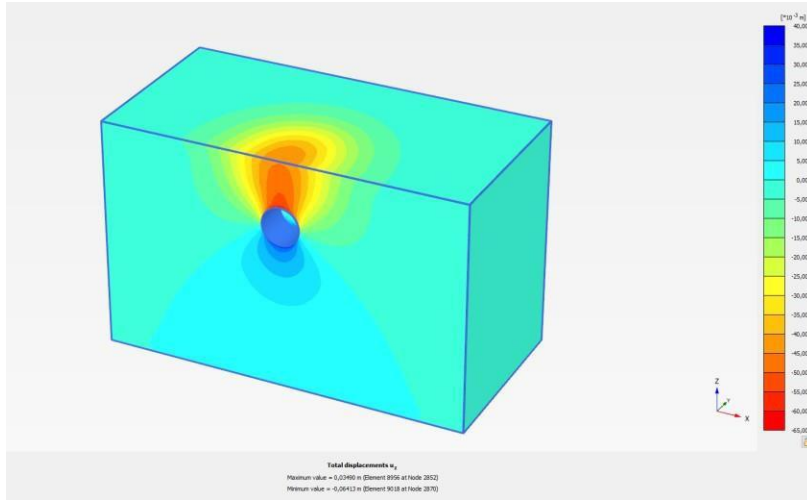
2.2 ANALİZ SONUÇLARI

Toplam Düşey Deformasyon Değerleri

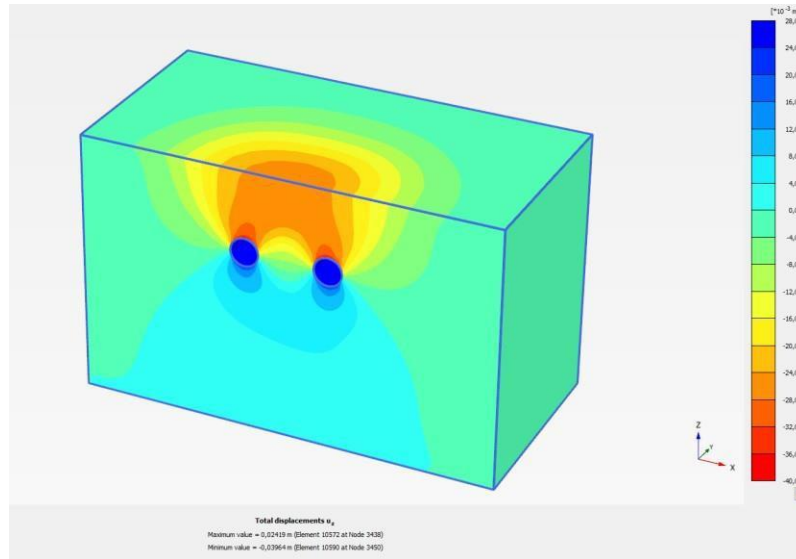
Modelleme sonucu elde edilen analiz sonuçları aşağıda verilmiştir;

Tek Tüp en büyük yüzey deformasyonu : 4,460cm

Çift Tüp en büyük yüzey deformasyonu : 2,729cm



Şekil 5a Tek Tüp Tünel Toplam Düşey Deformasyonu



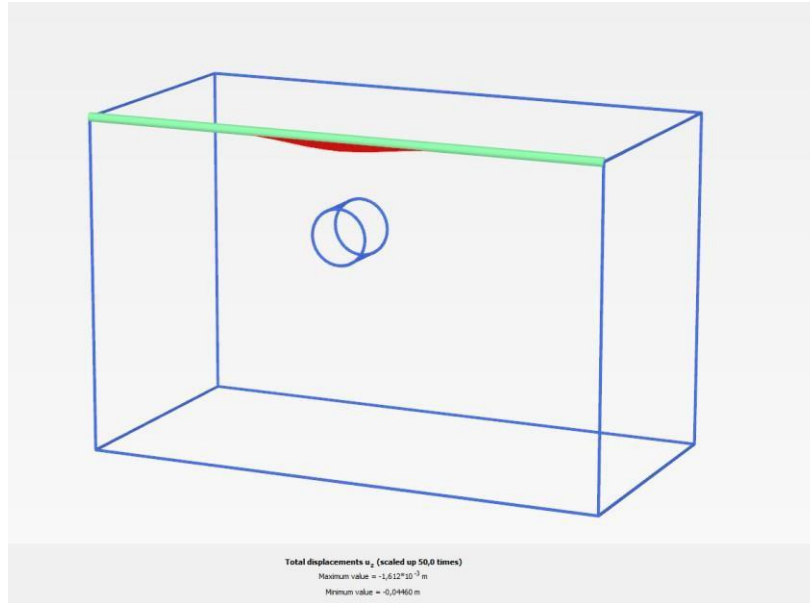
Şekil 5b Çift Tüp Tünel Toplam Düşey Deformasyonu



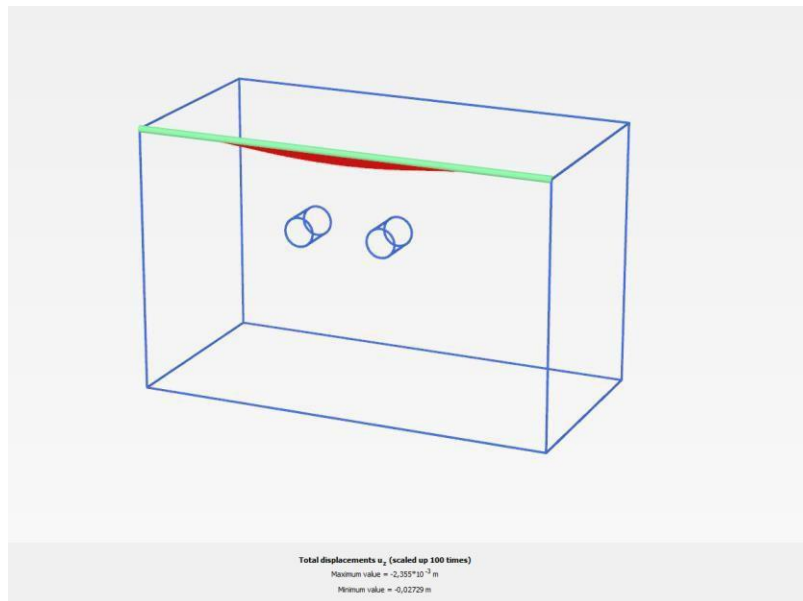
Yüzey Deformasyonu Değerleri

Tek Tüp en büyük toplam düşey deformasyon (Uz): 6,413cm

Çift Tüp en büyük toplam düşey deformasyon (Uz): 3,964cm



Tek Tüp Tünel Yüzey Deformasyonu



Çift Tüp Tünel Yüzey Deformasyonu

Çift tüp yöntemiyle yapılan tünel imalatında, kritik olan portal noktasında ölçülen yüzey deformasyonu değeri, tek tüp yöntemine göre %38,81 oranında, toplam düşey yön (Uz) oturmaları ise %38,19 oranında daha düşük bulunmuştur.



3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, çift tüp tünel yönteminin yüzey deformasyonları üzerindeki etkileri, tek tüp yöntemiyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, çift tüp tünel yönteminin, yüzey deformasyonları ve toplam düşey deformasyonlar (Uz) açısından tek tüp yöntemine kıyasla daha düşük değerler kaydettiğini göstermektedir.

Analiz sonuçlarına göre, giriş noktası üzerinde ölçülen yüzey deformasyonu değeri, çift tüp yöntemi kullanıldığında tek tüp yöntemine göre %38,81 daha düşük olmuştur. Tek tüp yönteminde en büyük yüzey deformasyonu 4,460 cm iken, çift tüp yöntemiyle ölçülen değer 2,729 cm olmuştur. Bu sonuç, çift tüp yönteminin yüzey deformasyonlarını azaltmada daha etkili olduğunu göstermektedir.

Benzer şekilde, toplam düşey deformasyonlar (Uz) da çift tüp yöntemi kullanılarak %38,19 daha düşük olmuştur. Tek tüp yönteminde en büyük toplam düşey deformasyon 6,413 cm iken, çift tüp yöntemiyle ölçülen değer 3,964 cm olmuştur. Bu sonuç, çift tüp yönteminin tünel inşası sırasında yer altındaki deformasyonların yönetiminde daha etkili olduğunu düşündürmektedir.

Bu sonuçlar, çift tüp yönteminin yüzey ve düşey deformasyonları azaltmada belirgin bir avantaj sağladığını ve bu yöntemin tünel projelerinde seçilmesinin, yer üstündeki yapıların güvenliğini artırabileceğini göstermektedir. Çift tüp yönteminin, kazı sırasında oluşacak gerilmelerin dağılımını daha iyi sağladığı ve bu nedenle çevresel etkileri azalttığı düşünülmektedir. Ancak, yöntemler arasında seçim yaparken, maliyetler, zaman ve projenin özel gereksinimleri dikkate alınmalıdır.

Sonuç olarak, çift tüp yöntemi, yüzey ve düşey deformasyonların azaltılmasında kayda değer avantajlar sunmaktadır ve tünel projeleri için desteklenen bir seçenek haline gelmektedir.



4. KAYNAKLAR

Japan international cooperation agency. (n.d.). Japan international cooperation agency. Retrieved may 1, 2024, from https://openjicareport.jica.go.jp/616/616/616_405_12001715.html

Çelik, S. (2017). Tünel Kazısından Dolayı Zemin Yüzeyindeki Oturmaların Mohr-Coulomb ve Pekleşen Zemin Modelleriyle Nümerik Tahminlerinin Karşılaştırılması. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(4), 95-102.

Moller, M. (2006). "3D Numerical Modelling in Geotechnic"

Peck, R. B. (1969). "Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground". State of the Art Report, 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, 225-290.

Selman, A. (2014). "Çift Tüp Tünellerde Yüzey Oturmalarının İncelenmesi". Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

