

## ZAYIF KAYA KOŞULLARINDA UYGULANAN ÇELİK BORU ŞEMSIYE KEMER BOYUTUNUN SAYISAL MODELLEME İLE BELİRLENMESİ: İZMİR METROSU ÖRNEĞİ

Determining Steel Pipe Umbrella Arch Size by Numerical Modeling in Weak Rock Conditions: İzmir Metro Case

Geliş (received) 14 Nisan (April) 2010; Kabul (accepted) 27 Mayıs (May) 2010

C. Okay AKSOY (\*)  
Turgay ONARGAN (\*\*)

### ÖZET

Tünel açma faaliyetleri esnasında, özellikle riskli bölgelerden geçerken ve zayıf zemin koşullarında çelik boru şemsiye kemer uygulaması yaygınlaşmıştır. Tünel güzergahında bulunan binalar, yeryüzünde oluşan oturmalar sonucu hasarlanabilmektedir. Bu hasarları önlemek için uygulanan çelik boru şemsiye kemer yönteminde, boru çapları değişebilmektedir. Ancak, hangi boru çapının kullanılacağı hem projenin ekonomisini hem de süresini etkilemektedir. 4 inç'lik çelik boru şemsiye kemer uygulamasında özel delici makine gerekirken, daha küçük çaplı boruların tünel çevresine ekskavatörlere bağlanan delici bir ekipman vasıtası ile yerleştirilmesi mümkün olabilmektedir. Uygun çelik boru çapı ise tünel önüne gelen yüklerin ve gerilmelerin karşılanmasında önem arz etmektedir. Bu çalışmada, İzmir Metrosu 2. Aşama İnşaatı kapsamında uygulanan 2 inç'lik çelik boru şemsiye kemer yönteminin uygunluğunun sayısal modelleme ile belirlenmesi ve uygulama sonucunda elde edilen verilerin, modelleme çalışması ile uyumu tartışılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Çelik Boru Şemsiye Kemer, Sayısal Model, Zayıf Zemin, Yüzey Oturması

### ABSTRACT

Steel Pipe Umbrella Arch application has become prevalent during tunnel excavations especially at risky zones and weak ground conditions. The buildings on the route of tunnel can be damaged because of the settlements on the ground. In umbrella arch method pipe diameters can be changed to prevent these settlements. However, the diameter of the pipe can affect both project economy and length of time. A special machine is needed to apply 4-inch umbrella arch but smaller diameters can be applied by drilling equipment which is engaged on the excavator. Optimum umbrella arch diameter is important for preventing bending moment. Determining suitability of 2-inch umbrella arch method and conformity between obtained data and modeling study within İzmir Metro 2. Phase Construction are discussed in this paper.

**Keywords:** Steel Pipe Umbrella Arch, Numerical Model, Weak Ground, Ground Settlement

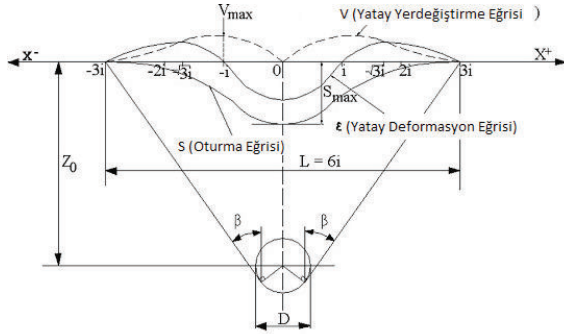
(\*) Doç. Dr. Dokuz Eylül Üni. Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü 35160 Buca/İZMİR, [okay.aksoy@deu.edu.tr](mailto:okay.aksoy@deu.edu.tr)

(\*\*) Prof. Dr. Dokuz Eylül Üni. Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü 35160 Buca/İZMİR,

## 1. GİRİŞ

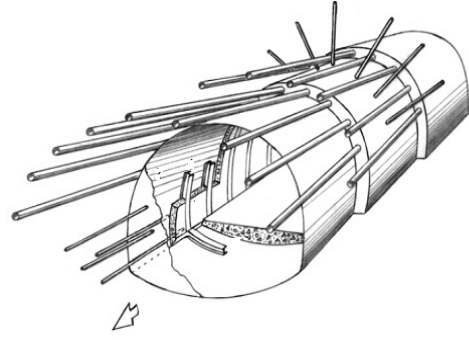
Özellikle şehir içi ulaşımı rahatlatmak amacıyla açılan metro tünellerinin güzergahlarında yoğun bir yapılaşma mevcuttur. Bu yapılaşma nedeniyle metro tünellerinin açılması esnasında çok ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların ana amaçlarından birisi de tünel açma işlerinden kaynaklanan riskler çerçevesinde yapıların güvenliğini sağlamaktır. Bu nedenle, tünel açma işleri sonucu oluşan zemin oturmalarının minimum seviyeye çekilmesi gerekmektedir (Aksoy ve Onargan, 2010).

Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi ülkemizde en çok kullanılan yöntemdir. Ancak, bu yöntemin ana ilkesi deformasyona izin vererek dengeyi sağlamaktır. Tünel açma çalışmaları esnasında tünelin konverjansa uğramasına izin vermek, bu konverjansın bir miktarının yeryüzüne zemin oturması olarak yansımaya neden olmaktadır. Tünel güzergahında oluşan zemin oturması ile ilgili parametreler Şekil 1'de verilmektedir (Ercelebi vd, 2005).



Şekil 1. Zemin oturma değiştiricileri (Ercelebi vd, 2005'den).

Güzergah boyunca yapıların yoğun olması durumunda, zemin oturmalarını kontrol altında tutmak gerekmektedir. Bu amaçla son yıllarda çelik boru şemsiye kemer uygulaması sıkça kullanılır hale gelmiştir. Çelik boru şemsiye kemer uygulamasının görünümü Şekil 2'de verilmektedir (Onargan vd, 2008).

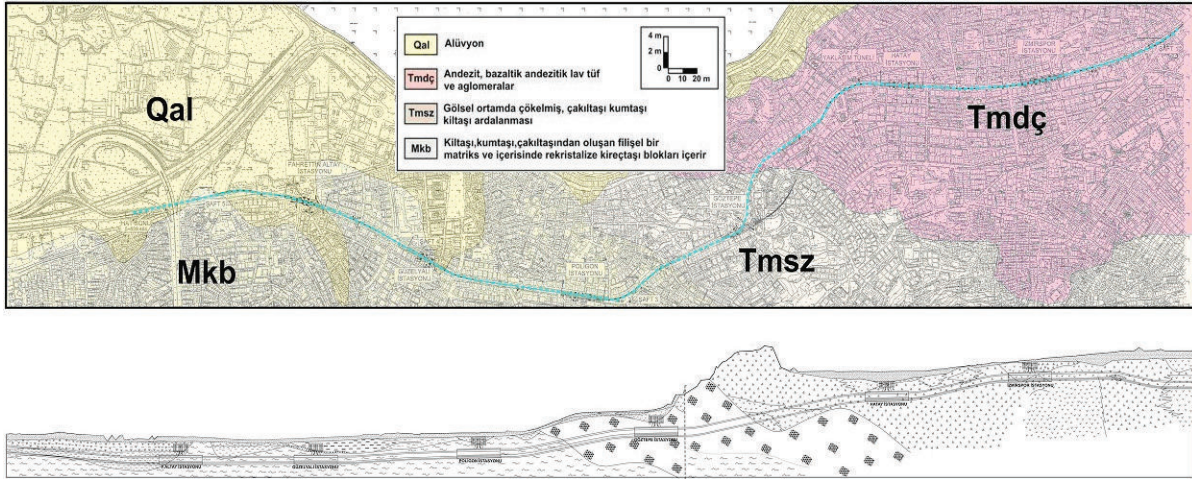


Şekil 2. Çelik boru şemsiye kemer uygulaması (Onargan vd, 2008).

Şekilden de anlaşılacağı üzere tünel cidarı çevresince belirli uzunlukta, içi boş çelik borular tünel aynasında içeriye doğru yerleştirilmektedir. Bu borular içinden enjeksiyon malzemesi pompalanarak tünel çevresinde yapay bir kabuk (şemsiye) oluşturulmaktadır. Bu borular hem tünelin etki alanını daraltarak zemin oturmalarının dar bir alanda oluşmasını sağlamakta hem de tünel aynasının hareketinden kaynaklanan oturmaları azaltmaktadır (Aksoy ve Onargan, 2010). Çelik boru şemsiye kemer uygulaması hakkında değişik bilgilere ulaşmak mümkün olmakla birlikte (Hoek, 2003; Kim vd, 2004; Miura, 2003; Gibbs vd, 2002) genel olarak ön-delgi ve anlık delgi şeklinde iki farklı metotla uygulanır. Bu metotların avantaj ve dezavantajları mevcuttur (Vollkman, 2004).

## 2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

İzmir metrosu 2. Aşama inşaatı güzergahında hakim olan birimler Yamanlar Volkanitleri, Altındağ formasyonu ve Bornova Karmaşığı'dır. Bu çalışmaya konu olan Poligon-Güzelyalı arasında hakim birim Bornova karmaşığıdır. Genel olarak alüvyal çökellerle örtülü Bornova Karmaşığı, çamurtaşı, kumtaşı ve grafit şistten kuruludur. Kumtaşı; birimi 5-10 cm arasında katmanlanma sunar ve bu birimin süreksizlikleri çoğunlukla pürüzlü yüzeyli ve dolgusuzdur. Yer yer izlenen kil-kalsit-kuvars dolguların kalınlığı 0,1-7 cm arasındadır. Kiltaşının eklemleri genellikle açık ve pürüzsüzdür. Grafit şist; ince-orta taneli, az-orta derecede ayrılmış yer yer kuvars çakıllı, orta-zayıf dayanımlıdır. Bornova Karmaşığına ait birimlerin RQD değerleri açılan sondajlarda % 0- 10 arasında değişmektedir (Aksoy vd, 2006). Güzergaha ait jeoloji haritası Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3. Çalışma alanı genel jeolojisi (Onargan ve Aksoy, 2008).

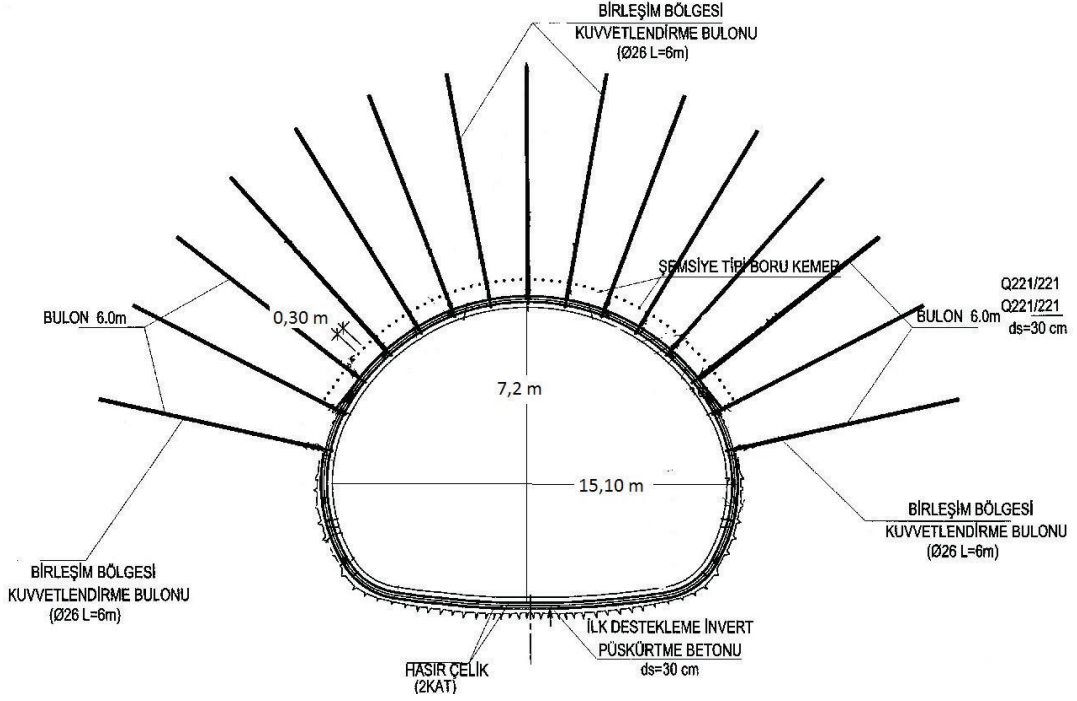
### 3. Çelik Boru Şemsiye Kemer Boyutlarının Sayısal Modelleme İle Belirlenmesi

Uygulamada, genel olarak çelik boru şemsiye kemer yöntemi 4 inç'lik çelik borular ile yapılmaktadır. Bu uygulama özel tecrübe istemekle birlikte 4 inç'lik çelik boruların yerleştirileceği delikleri tünel içerisinde delebilmek için özel makine gerekmektedir. Bu durumda, tünel aynasında hem çelik boru kemerlerin oluşturulması için ayrı bir makine, hem çelik boru şemsiye kemer bindirmelerinde bulonların yerleştirilmesi için ayrı bir makine hemde kazının yapılması için ayrı bir makine gerekli olabilmektedir. Bu uygulamaya alternatif olarak 2 inç'lik çelik boru şemsiye kemer uygulamasının yeterli olduğu durumlarda ise sadece bir makine ile hem kazı hem de çelik boru şemsiye kemer uygulaması yapılabilir. Böylelikle hem makine kullanım oranı artırılarak proje maliyetlerine olumlu etki yapılabilir hem de miktar olarak daha az çelik boru kullanılmaktadır.

Bu durumda önemli olan değıştirge 2 inç'lik çelik boru şemsiye kemer uygulamasının yeterli olup olmadığının belirlenmesidir. Bilinebildiği kadarıyla bunun tetkikini yapacak ampirik bir yaklaşım henüz yoktur. Bu nedenle, uygulanacak çelik boru şemsiye kemer paterni ve boyutlarının sayısal modelleme ile tetkik edilmesi düşünülmüştür. Yapılan çalışma kapsamında, İzmir Metrosu 2. Aşama İnşaatı kapsamında Üçyol-Üçkuyular güzergahında, Poligon-Güzelyalı arasındaki bölümde 2 inç'lik çelik boru şemsiye kemer uygulamasının yeterli olup olmadığı tetkik

edilmiştir. Güzergahın bu bölümünde zaman zaman değışik çaplarda ve boyutlarda çelik boru şemsiye kemer uygulaması yapılmıştır. Değışkenlik gösteren kaya kütlesi koşullarında, bazı lokasyonlarda 2 inç'lik çelik boruların yeterli olduğu modelleme çalışmaları ile tespit edilmiş ve modelde uygulanan çelik boru şemsiye kemer paterni tünelde uygulanmıştır. Güzergahın bu zorlu bölümlerini geçmek için değışik yöntemler uygulanmıştır (Aksoy, 2008; Küçük vd, 2009; Aksoy vd, 2010; Aksoy ve Onargan, 2010). 2 inç'lik çelik boru şemsiye kemer uygulaması da bu yöntemlerden birisidir. Şekil 4'te Poligon-Güzelyalı bölümünde uygulanması planlanarak, analiz edilen 2 inç'lik çelik boru şemsiye kemer düzeni verilmektedir.

Uygulanan düzende çelik boru deliklerinin dışları arasında 30 cm ara bulunmaktadır. Çelik boru şemsiye kemer uygulamasında önemli olan diğeri bir değıştirge bindirme boylarıdır. Bindirme boyu kullanılacak çelik boru miktarını direk etkilerken, tünel aynası önünde oluşan yüklerin karşılanması konusunda da önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında 4,5 m ve 6 m çelik boru şemsiye kemer bindirmesi değerlendirilmiştir. Yapılan analizlerde 4,5 metre çelik boru şemsiye kemer bindirmesinin yeterli olduğu tespit edilmiştir. Kazı planı olarak ise üst yarı, alt yarı ve invert ve tahkimatının silsileli olarak birer metre ilerlemesi ve tahkimatının yapılması değerlendirilmiştir. Şekil 5'te modellenen kazı adımları çelik boru bindirmeleri görülmektedir.



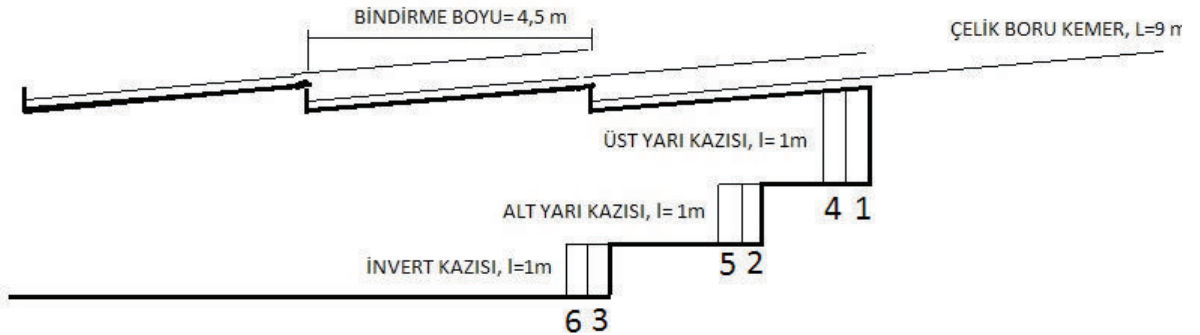
Şekil 4. 2 inç'lik çelik boru şemsiye kemer uygulama düzeni.

#### 4.Sayısal Modelleme İle Çelik Boru Şemsiye Kemer Boyutlarının Belirlenmesi

Yukarıda bahsedilen jeolojik veriler ve değerlendirilen kazı tahkimat adımları çerçevesinde oluşturulan sayısal modelin ağ yapısı Şekil 6'da verilmektedir.

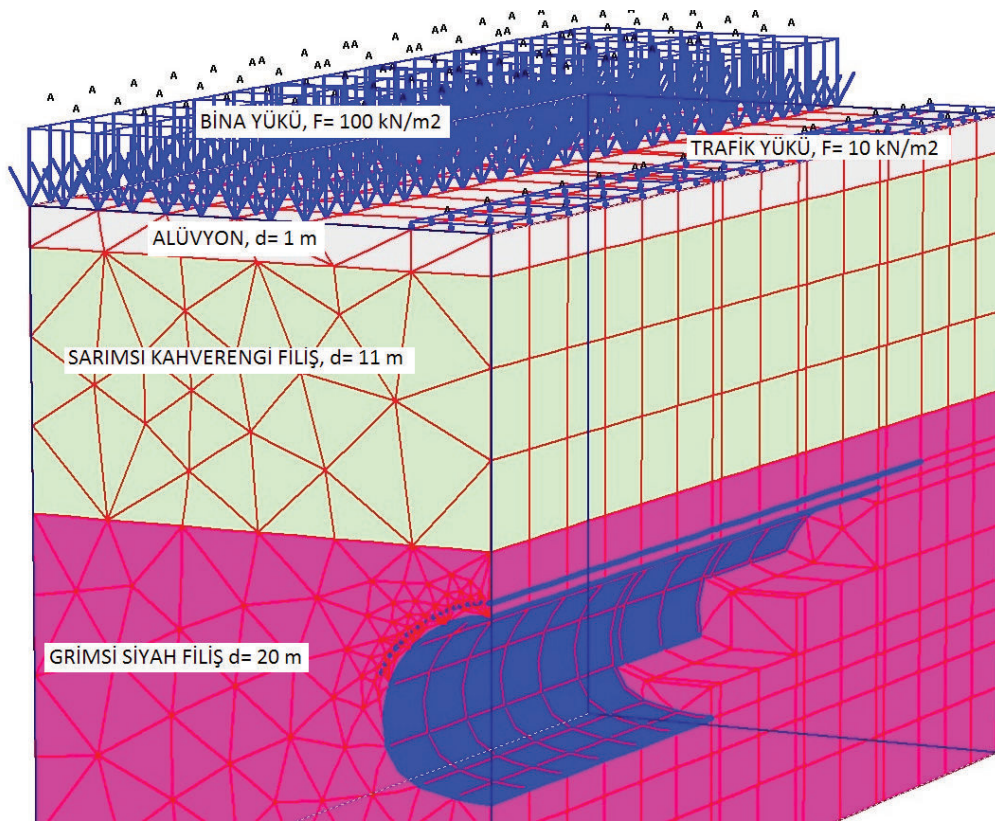
Oluşturulan modelin çözümünde sonlu elemanlar yöntemi ile PLAXIS 3D Tunnel kullanılmıştır. Analiz edilen modelde kullanılan zemin ve yapısal elemanlara ait değişirgeler Çizelge 1'de verilmektedir. Modelin çözümlenmesi sonucu elde edilen deformasyon ve gerilmelere yönelik sonuçlar Şekil 7'de verilmektedir.

Çözüm sonrasında tünelin duraylı olduğu tespit edilmiştir. Şekil 8' de çelik boru şemsiye kemer sistemine gelen yük ve momentler görülmektedir. Çelik boru şemsiye kemer sisteminde oluşan maksimum eğilme momenti 0,769 kNm/m, maksimum aksenal yük 62,82 kN/m ve maksimum kesme kuvveti 27,72 kN/m olarak tespit edilmiştir. Ek olarak, tahkimat sisteminde de (Şekil 9) maksimum toplam deformasyon 6,82 mm, maksimum eğilme momenti 198 kNm/m, maksimum aksenal kuvvet 40,88 kN/m ve maksimum kesme kuvveti 13,3 kN/m olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5. Kazı tahkimat adımları ve çelik boru şemsiye kemer bindirmesi ve kazı-tahkimat sıralaması.





Şekil 6. Sonlu elemanlar modeli ağ yapısı.

Çizelge 1. Kaya Kütleli ve Yapısal Elemanlara Ait Değişirgeller

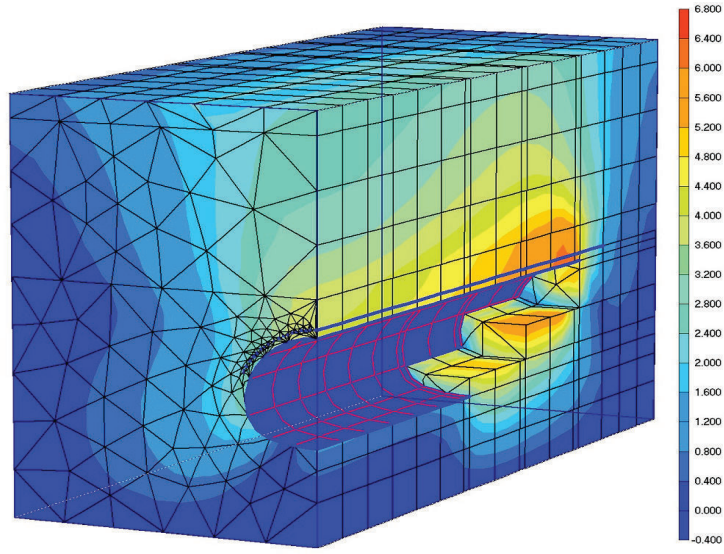
		Alüvyon	Sarımsı Yeşil Filiş	Griimsi Siyah Filiş
Birim Hacim Ağırlık; $\gamma_{unsat}$	(kN/m <sup>3</sup> )	20	26,3	26,8
Elastisite Modülü; $E_{ref}$	(kN/m <sup>2</sup> )	90000	610000	1650000
Possion Oranı; $\nu$	-	0,35	0,28	0,25
Kohezyon; $c_{ref}$	(kN/m <sup>2</sup> )	130	245	420
İçsel Sürtünme Açısı; $\phi$	(°)	12	21	32
Çekme Dayanımı; $T_{str}$	(kN/m <sup>2</sup> )	3	8	14

Yapısal Eleman	EA [kN/m]	EI [kNm <sup>2</sup> /m]	W [kN/m/m]	$\nu$	Mp [kNm/m]	Np [kN/m]
Püskürtme Beton	7,392e8	5,550e6	48,20	0,15	1e15	1,154e16
Çelik Boru	1,596e7	8000	7,6	0,12	1e15	4,467e16

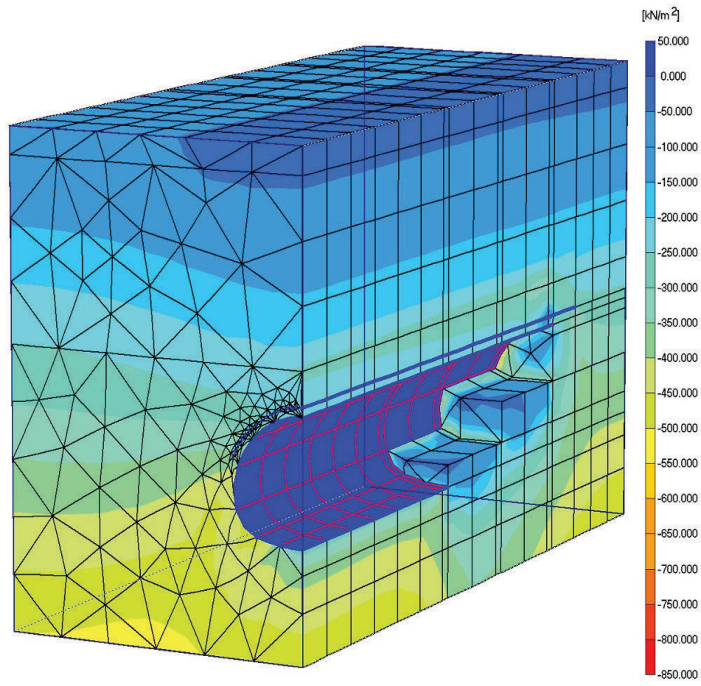
E.A.: Eksenel Katılık, E.I.: Dönme Katılığı, W: Ağırlık,  $\nu$ : Poisson Oranı, Mp: Maksimum Eğilme Momenti  
Np: Maksimum Eksenel Kuvvet

Model genişliği 25 m, yüksekliği 32 m ve derinliği 80 m olarak seçilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde model boyutunun sınır koşullarda uzaklaşmak için ve sınır koşulların tünel analizini etkilemeyecek boyutta olduğu görülmektedir. Modelde başlangıç koşulları için Ko prosedürü seçilmiştir. Bütün tabakalar için Ko=0,5 alınmıştır.

Yükleme koşullarında sadece yer çekimi etkisi kullanılmıştır. Yenilme ölçütü olarak Mohr-Coulomb yenilme ölçütü kullanılmıştır. Kazı ve destek aşamaları Şekil 5'de sıralandırılmıştır.

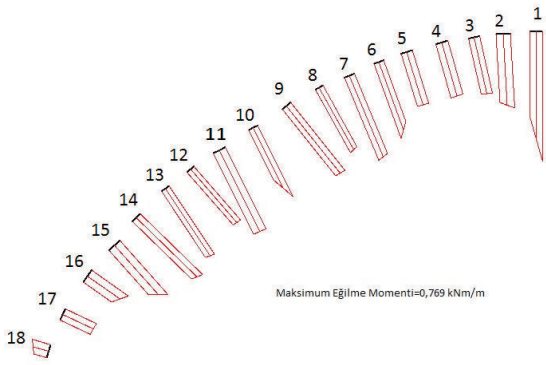


(a)

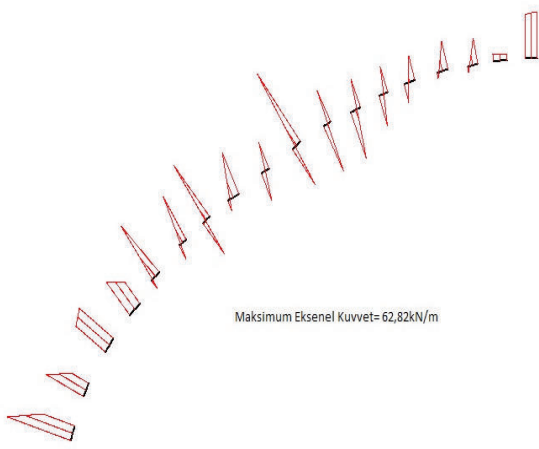


(b)

Şekil 7. Gerilme ve deformasyonların kontorsal görünümü (a, toplam deformasyon-mm, b, toplam gerilme-kN/m<sup>2</sup>).



(a)

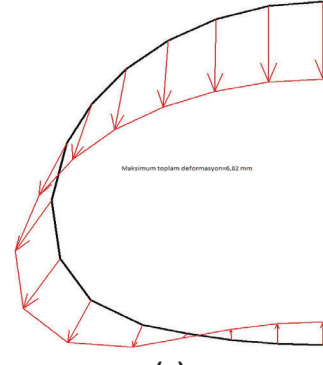


(b)



(c)

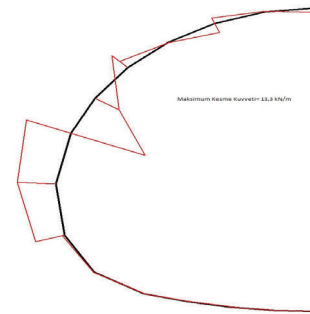
Şekil 8. Çelik boru şemsiye kemer uygulamasında çelik borulara gelen moment ve yükler (a-Eğilme momenti, b-Eksenel kuvvet, c- Kesme kuvveti).



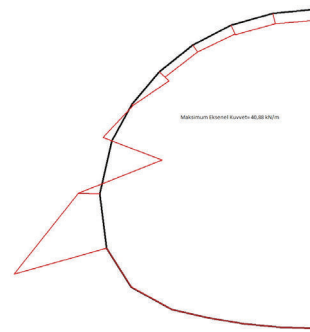
(a)



(b)



(c)

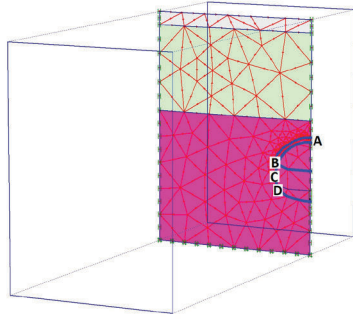


(d)

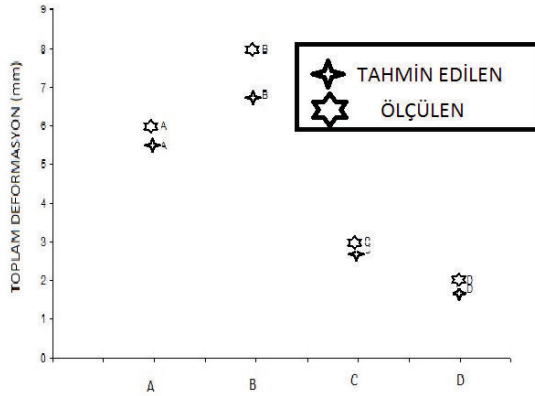
Şekil 9. Tahkimat sisteminde oluşan deformasyon, yük ve momentler (a-Toplam deformasyon, b-Eğilme momenti, c-Eksenel Kuvvet, d-Kesme kuvveti).

## 5. Sayısal Model Sonuçları ve Tünelde Yapılan Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

Araştırma kapsamında yapılan sayısal modelleme ve sayısal model önerilerinin tünelde uygulanması sonucu oluşan tünel içi konverjans (kapanma) sonuçları incelendiğinde sonuçların çok yakın olduğu belirlenmiştir. Şekil 10'da tünel açma işleri sırasında yapılan yerinde konverjans ölçüm noktaları (model üzerinde iki kesit incelenmiştir) ve Şekil 11'de ise sayısal model sonuçları ve yerinde ölçülen konverjans değerleri verilmektedir.



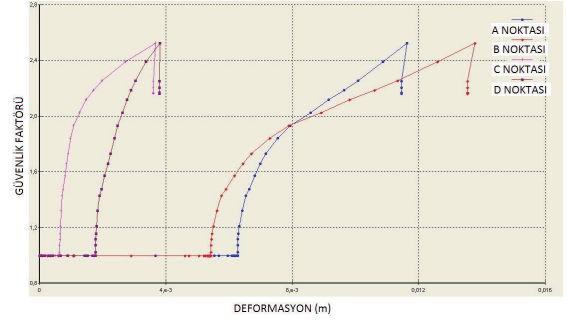
Şekil 10. Tünel içi konverjans (kapanma) ölçüm noktaları.



Şekil 11. Sayısal modelleme sonuçları ve yerinde yapılan ölçüm sonuçları.

Şekil 11'den de görüleceği üzere sayısal model üzerinde belirlenen ve tünelde ölçüm yapılan noktaları temsil edilen noktalardan alınan sonuçlar ile tünel açma işleri ve sonrasında yapılan yerinde konverjans ölçümlerinin son değerleri incelendiğinde sonuçların birbirine çok yakın olduğu ve tünelin duraylı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, bu analizlerden sonra, 2 inç'lik çelik boruların bu yük ve momentleri taşıyacağı

ve sistemin duraylı olacağı sayısal model sonucu yapılan güvenlik faktörü hesaplaması ile teyit edilmiştir. Güvenlik faktörü hesaplarına göre sistemin güvenlik katsayısı 2,2 civarında çıkmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Sistemin güvenlik katsayısı sonuçları.

## SONUÇLAR

Çelik boru şemsiye kemer uygulaması, riskli bölgelerde yapılan tünel açma faaliyetlerinde çok sık kullanılır hale gelmiştir. Özellikle zayıf kaya koşullarında ve güzergah üzerinde yapıların yoğun şekilde bulunduğu bölgelerde uygulama alanı bulan bu yöntem hem tünel etki alanını daraltmakta hem de tünelin güvenli şekilde açılmasına ve yapıların güvende olmasına katkı koymaktadır. Uygulamada 4 inç'lik borular çok sık kullanılmaktadır. Bu çalışmada, 2 inç'lik boruların kullanımı ile İzmir Metrosu 2. Aşama inşaatı tünel güzergahında bulunan Poligon-Güzelyalı arası bölümde riskleri minimuma indirerek tünelin güvenli şekilde açılması sağlanmıştır. Yapılan analizlerde, çelik boru ve tahkimat sisteminin gerilmeleri, yükleri ve momentleri taşıdığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonrasında sistemin güvenlik katsayısının 2,2 civarında olduğu belirlenmiştir. Tünel açma işleri esnasında ve sonrasında yapılan yerinde konverjans (kapanma) ölçümleri ile yapılan analiz sonucu tahmin edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde yapılan saha çalışmalarında gerekli hertürlü teknik desteği sağlayan İzmir Büyükşehir Belediyesi personeli Sayın Nevin GENÇ, Sayın Hasan AYDIN, Sayın Eşref KURTOĞLU ve Sayın Özgür ÖNGEN'E teşekkür eder.



## KAYNAKLAR

Aksoy C.O. 2008; "Chemical Injection Application at Tunnel Service Shaft to Prevent Ground Settlement Induced by Ground Water Drainage: A Case Study", *Int J Rock Mech Min Sci*, **45(3)**, 376-383.

Aksoy, C.O. ve Onargan, T., 2010; "The Role of Umbrella Arch and Face Bolt as Deformation Preventing Support System in Preventing Building Damages", *Tunneling and Underground Space Technology*, doi:10.1016/j.tust.2010.03.004.

Aksoy, C.O. Kantarci, O. Ozacar, V., 2010; "An Example for Estimation of Rock Mass Deformations Around an Underground Opening using Numerical Modeling", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, **47(2)**, 272-278.

Aksoy, C.O. Onargan, T., Gungor, T., Kucuk, K., Kun, M., 2006; İzmir Metrosu II. Aşama Göztepe-F. Altay istasyonları arası delme tünel kazı ortamı ve tahkimat sistemi değerlendirme etüdü.

Ercelebi, S.G., Copur, H., Bilgin, N. ve Feridunoglu, C., 2004; "Surface settlement prediction for Istanbul metro tunnels via 3D FE and empirical methods, *Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future*" Erdem & Solak (eds)© 2005 Taylor & Francis Group, London, ISBN 04 1537 452 9, 163-169.

Gibbs, P.W., Lowrie, J. Kieffer, D.S., McQueen, L. 2002; "Design of a shallow soft ground shotcrete motorway tunnel", In *Proceedings of the 28th ITA-AITES World Tunneling Congress*, Sydney, Australia.

Hoek E., 2003; Numerical Modeling for shallow tunneling, Discussion Paper, s.10, [www.rocscience.com/library/rocnews/Spring2003/ShallowTunnels.pdf](http://www.rocscience.com/library/rocnews/Spring2003/ShallowTunnels.pdf).

Kim, C.Y., Kim, K.Y., Hong, S.W., Bae, G.J., Shin, H.S. 2004; "Interpretation of field measurements and numerical analyses on pipe umbrella method in weak ground tunneling", In *Proceedings of the ISRM Regional Symp. EUROCK 2004 and 53rd Geomechanics Colloquy* (ed. W. Schubert), Salzburg, Austria, 167-170.

Kucuk, K., Genis, M., Onargan, T., Aksoy, C.O., Guney, A. Altındağ, R., 2009; "Chemical injection to prevent building damage induced by ground water drainage from the shallow tunnels", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, **46(7)**, 1136-1143.

Miura, K., 2003; Design and construction of mountain tunnels in Japan. *Tunneling and Underground Space Technology*, **18(2-3)**, pp.115-126.

Onargan. T., ve Aksoy. CO., 2008; İzmir metrosu II. aşama inşaatı istasyon tünel kazıları değerlendirme raporu, s.6.

Onargan, T., Aksoy. CO., Küçük, K., Kun. M., 2008; İzmir hafif raylı sistem 3. aşama Bornova metro tünel inşaatı ön ve nihai destekleme projesi.

Volkman, G.M., 2004; "A contribution to the effect and behavior of pipe roof supports". In *Proceedings of the ISRM Regional Symp. EUROCK 2004 and 53rd Geomechanics Colloquy* (ed. W. Schubert), Salzburg, Austria, 161-166.