

## Simav Depreminin Yüksek Hızlı Tren Tünellerine Etkisi

*The Effect of Simav Earthquake to the High Speed Railway Tunnels*

Elif Apaydın Poşluk<sup>1</sup>, Evren Poşluk<sup>2\*</sup>

*1 İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

*2 2.Demiryolu Yapım Grup Müdürlüğü, Bozüyük/Bilecik*

*\*Sorumlu Yazar: evrenposluk@gmail.com*

### Özet

Bu çalışmada, “Ankara-İstanbul Yüksek Hızlı Tren Projesi” kapsamında imalatı devam eden 7 adet tünele (10991,8 m.) 19 Mayıs 2011 tarihinde Kütahya'nın Simav ilçesinde meydana gelen Mw=5,8 büyüklüğündeki depremin etkileri incelenmiştir. Bilecik ili Bozüyük ilçesi civarında bulunan tünellerden deprem episentr noktasına en yakın tünel (36 nolu tünel) 110 km, en uzak tünel ise (30 nolu tünel) 117 km mesafede bulunmaktadır. NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi) ile imalatı devam eden ve nihai kaplaması tamamlanmış tüneller içerisinde şerit ekstansometre, optik tarama ve opto-trigonometrik yöntemler ile ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler neticesinde tünel içerisinde oluşan yer değiştirmeler (deplasmanlar) tespit edilmiştir. Ayrıca tünellerin açıldığı yerel kaya koşullarının jeoteknik özellikleri ve tünellerin kaplama durumları da değerlendirilerek deprem yükleri altında tünellerin davranışları belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen veriler ışığında tünel imalatı sırasında ve sonrasında ne tür tedbirler alınması gerektiği tartışılmaya çalışılmıştır.

*Anahtar kelimeler: Simav depremi, deformasyon, tünel, demiryolu.*

### Abstract

*In this study, within the scope of Ankara-Istanbul High Speed Railway Project, the effects of the earthquake in Simav in the town of Kütahya with a magnitude of Mw=5.8 on 19 May 2011 have been investigated along 7 tunnels (10991,8 m.) ongoing. The nearest tunnel (tunnel number 36) is 110 km and the most distant tunnel (tunnel number 30) is 117 km to the earthquake epicenter point in Bilecik near Bozüyük. Convergence measurements have been taken with the tape extensometer, optical scanning and opto-trigonometric methods from the tunnels, ongoing the construction with NATM (New Austrian Tunneling Method) and completed the final coating. As a result of these measurements, the displacements occurring in the tunnel have been identified. Also The tunnel behaviours under the seismic loads have been determined with the obtained data by evaluating the geotechnical properties of the local rock conditions excavated the tunnels and coating states of the tunnels. It has been confirmed that in the primary support system manufacturing, the displacements after the earthquake have especially increased in weak rock conditions nonfinished the ring, there has been sudden settlements from place to place and also, there has been warps in the bolt plates being from the support system elements. Any displacements have not been observed in the tunnels completed the concrete lining manufacturing. In light of the data obtained during and after manufacture of the tunnel tried to discuss what measures should be taken.*

*Key Words: Simav earthquake, deformation, tunnels, railway.*

## 1. Giriş

Yer altı yapıları ile yer üstü yapıları arasında deprem davranışları arasında önemli farklar bulunmaktadır (Yousef ve ark., 2001). Tamamı veya büyük bir kısmı yer altında gömülü, özellikle küçük hacimli yapılarda depremden kaynaklanan önemli zorlanmalar oluşmaktadır (Aykaç, 2005). Yapılan çalışmalar sonucunda deprem yüklerinin özellikle sığ yer altı yapılarına etkisinin daha büyük olduğu belirlenmiştir (Dowding ve Rozen, 1978; Zahrah ve John, 2001). Metro veya diğer ulaşım tünelleri gibi uzun yer altı yapıları zemin ile birlikte deforme olduklarından, zeminin kendi içindeki farklı deformasyonlar doğrudan yer altı yapısına deformasyon olarak iletilmekte ve bu da yer altı yapısında önemli kuvvetler oluşturabilmektedir (Aykaç, 2005.). Tünel/galeri eksenine paralel doğrultudaki dalga yayılımları tünelde aksel şekil değiştirmelere neden olmakta, tünel eksenini kıvrımlanmaya zorlamaktadır. Negatif kıvrımlanmaya maruz kalan bölgede tünelin üst kısmı çekme gerilmesine, alt kısmı ise basınç gerilmesine maruz kalır. Özellikle çekme gerilmesine maruz kalan bölümlerde kırılmalar, yenilmeler gözlenir. Basınç gerilmesine maruz kalan bölümlerde ise aşırı ölçüde basınç gerilmesi yoğunluğu söz konusudur. Ayrıca tünel eksenine dik doğrultudaki dalga yayılımı sonucunda tünel kesit geometrisinde şekil değişikliği meydana gelmektedir (Hashash, 2000).

Bu çalışmada “Ankara-İstanbul Yüksek Hızlı Tren Projesi” kapsamında bulunan toplam uzunluğu 10991,8 m. olan 7 adet tünelin (30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 no'lu tüneller) 19 Mayıs 2011 tarihinde Kütahya'nın Simav ilçesinde yaşanan  $M_w=5.8$  büyüklüğündeki deprem öncesi ve sonrası durumları incelenmiştir. Tünelde yaşanan deplasmanlar ölçülmüş, değerler tünellerin kaplama durumu ve yerel kaya koşulları göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

## 2. Güzergâhın Jeolojik ve Jeoteknik Özellikleri

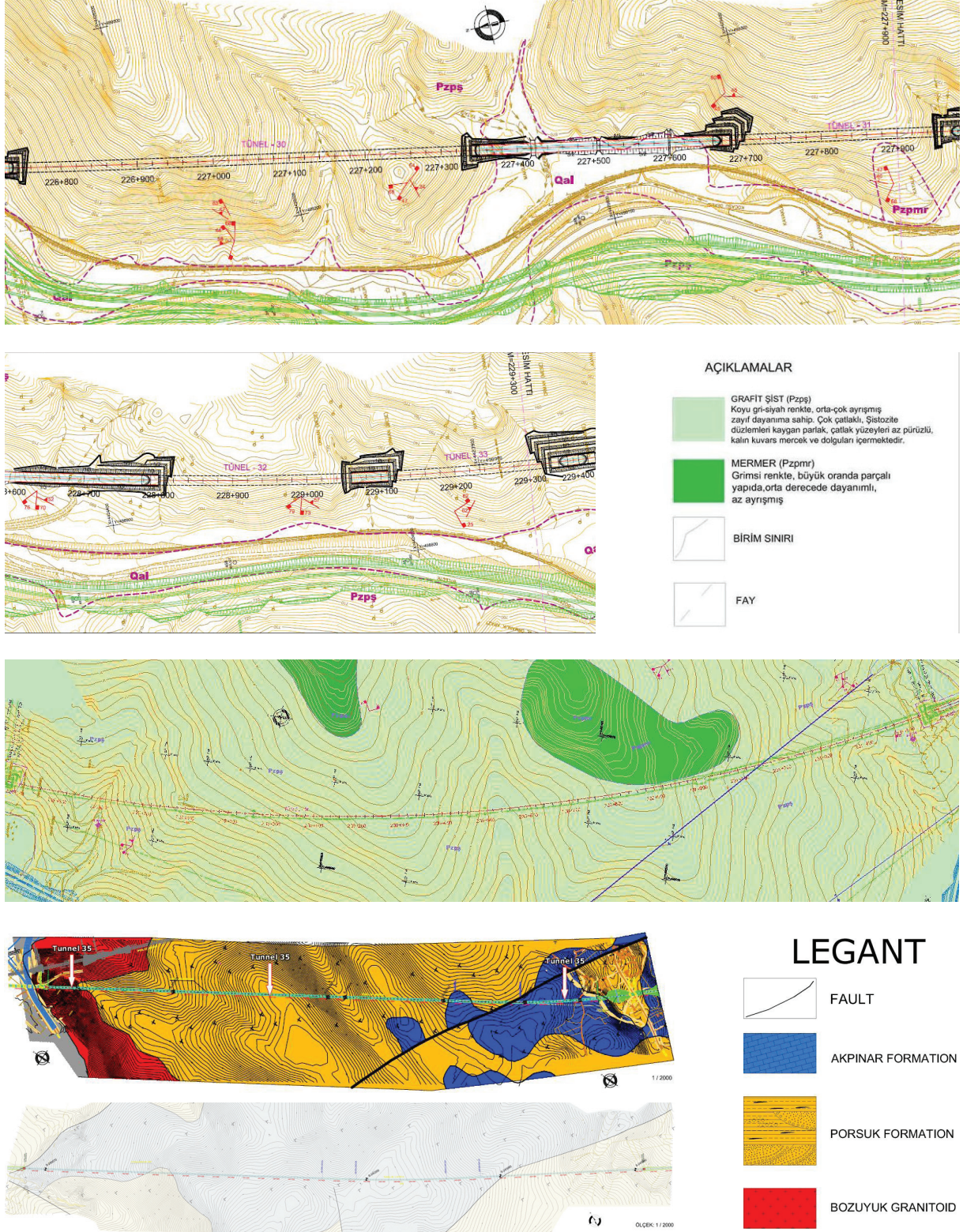
Çalışma alanı, Bozüyük - Bilecik arasında, Bozüyük'ün 3 km kuzey doğusu ile 5 km kuzeybatısında yer almaktadır (Şekil 1). Tünel güzergâhları farklı rölyeflere sahiptir. Tünel üzerindeki örtü kalınlıkları 5 ile 210 m arasında değişmektedir.



Şekil 1. Yer bulduru haritası.

## 2.1. Genel Jeoloji

30-31-32-33 ve 34 no'lu tünel güzergahları boyunca, Koçyiğit ve ark., (1991) tarafından adlandırılan Pazarcık karmaşığı gözlenmektedir (Şekil 2). Birim, Bilecik ile Bozüyük arasında yüzeylemekte ve bindirmeli yapı sunan çok değişik kaya türleri ile temsil edilmektedir. Çalışma alanında tabanı görülmeyen birim, üstte Triyas yaşlı Karakaya Grubu ile aşımimli ve yer yer



Şekil 2. Tünelere ait genel jeoloji haritaları (Yüksel Proje, 2004 ve Şimşek, 2009'dan değiştirilerek)

faylı, Bayırköy Formasyonu ile aşınımlı dokanak ilişkisi sunmaktadır. Birim genelde, yeşilist fasiyesi koşullarında metamorfizma geçirmiş ve yapısal olarak üst üste gelmiş değişik kalınlık-taki kayaçlardan oluşmaktadır.

35 no'lu Tünel güzergahının giriş portalında (KB), grimsi koyu yeşil-gri-alacalı rengi ile çok karakteristik Bözüyük Granitoyidi yüzeylenmektedir. Çıkış portalı-GD' ya doğru granitoyidi açısal uyumsuzlukla örten Miyosen yaşlı Porsuk formasyonu ve bunun da üzerine çıkış portalı tarafında Akpınar formasyonu gelmektedir.

36 no'lu tünelde karşılaşılan birimlerin tabanında Porsuk Formasyonu (Miyosen) vardır. Birim Gözler ve ark., (1997) tarafından tanımlanmıştır. Bu birim çakıl-kum-kil ve bazen bu oluşuk-ların kısmen diyajenez-çimento ile gevrek-son derece zayıf dayanımlı kaya özelliği kazandığı ardalımalı bir istiflenmedir (Şekil 2).

Porsuk formasyonu üzerine uyumlu olarak Akpınar Formasyonu gelmektedir. Bu birim çalışma bölgesinde ve genelde yükselteleri oluşturan tepelerde bej-kirli beyaz renkli, orta-kalın tabakalı olarak yaygındır.

## 2.2. Birimlerin Kaya Mekanîği Özellikleri

Kaya kütlelerinin sınıflandırılması kaya kütlelerinin davranışlarını ve karakterini belirlemek açısından önemlidir. Bu amaçla ilk ciddi çalışma 1946 yılında terzaği tarafından yapılmıştır. Günümüze kadar geçen süreçte farklı araştırmacılar tarafından farklı sınıflama sistemleri önerilmiştir. Kaya kütlelerinin sınıflandırılması kaya kütlelerinin davranışlarını ve karakterini belirlemek açısından önemlidir. Bu amaçla ilk ciddi çalışma 1946 yılında terzaği tarafından yapılmıştır. Günümüze kadar geçen süreçte farklı araştırmacılar tarafından farklı sınıflama sistemleri önerilmiştir. Her sistemin kendi avantaj ve dezavantajları vardır (Aksoy, 2008). Günümüzde, RMR (Bineawski, 1989), Q (Barton, 2002), GSI (Hoek, 2002; Marinos ve Hoek, 2000) ve RMI (Palmström, 1996), en yaygın kullanılan sistemlerdir (Aksoy, 2010).

Çalışma alanında karşılaşılan birimlerin mühendislik özelliklerini belirlemek amacı ile RMR (Bineawski, 1989), Q (Barton, 2002), GSI (Hoek, 2002; Marinos ve Hoek, 2000), kullanılmıştır (Çizelge 1).

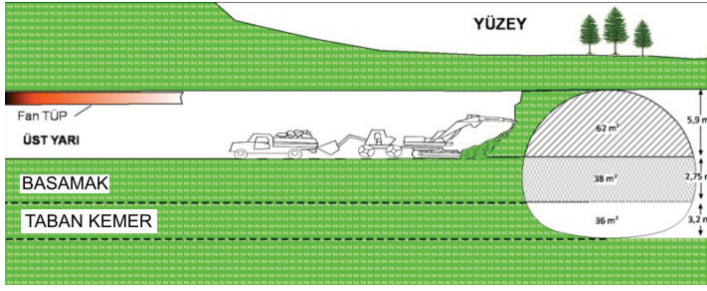
FORMASYON	TÜNEL	RMR	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	ESR	Q	GSI
Grafit Şist	30, 31, 32, 33, 34	20	20	9	1	8	1	10	1	0,03	25
Akpınar	35, 36	40	55	9	1,5	3	1	5	1	0,61	35
Porsuk	35,36	17	10	9	1	6	1	10	1	0,02	17
B.Granitoyidi	35	32	42	9	1,5	4	1	5	1	0,35	26

Çizelge 1. Güzergah boyunca karşılaşılan birimlerin jeomekanik özellikleri.

## 3. Tünel Kazı Yöntemi

Tünellerde Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) kullanılmaktadır. Kazılar 3 ana parçadan oluşmakta olup, bu parçalar, üst yarı, basamak ve taban kemer şeklindedir (Şekil 3). Üst yarı 5,9 metre yüksekliğinde olup, kazı alanı 62 m<sup>2</sup> dir. basamak 2,75 metre yüksekliğinde ve 38 m<sup>2</sup> alana sahiptir. Taban kemeri ise 3,20 metre yüksekliğinde, 36 m<sup>2</sup> alanındadır. Söz konusu tünelin toplam yüksekliği 11,85 metre, genişliği ise 13,75 metredir. Toplam kazı alanı ise 136

m<sup>2</sup> dir (Şekil 3). İmalat sırasında üst yarı ile basamak arası mesafe 25 metre, basamak ile taban kemer arası mesafe ise 15 metre olarak önerilmektedir.



Şekil 3. Tünel kazı aşamaları ve tünel kazı bilgileri

İmalatı devam eden tünellerde iki farklı birincil destek sistemi kullanılmaktadır. Grafit şistler içerisinde açılan 30 no'lu tünel ile grafit şistlere göre daha zayıf olan örgülü akarsu çökeli (Porsuk Formasyonu) koşullarında geçilen 35 ve 36 no'lu tünellerde kullanılan destek sistemi detayları ve özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. da verilmiştir.

Destekleme Elemanları	30 Nolu Tünel Destek Elemanı Özellikleri	35, 36 Nolu Tünel Destek Elemanı Özellikler
İksa	I 160 Profil	I 200 Profil
Püskürtme Beton	30 cm (C20)	30 cm (C20)
Bulon	SN Tip $\Phi 28$ (l=6 m)	IBO Tip $\Phi 32$ (l=8 m)
Süren	1,5'' enjeksiyonsuz boru süren (eksende 30-40 cm arayla)	1,5'' enjeksiyonsuz boru süren (eksende 30-40 cm arayla)
Raund Boyu	1,25 m.	1 m.

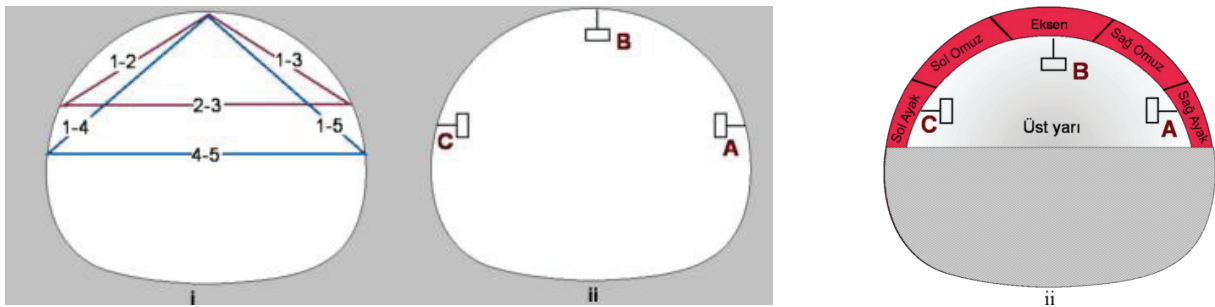
Çizelge 2. Tünellerde uygulanan destek sistemi detayları (Şimşek, 2009)

#### 4. Depremin Tünellere Etkisi

##### 4.1. Tünellerde Hareketliliğin Belirlenmesi

Tünel imalatları sırasında, tünellerde hareketliliği belirlemek amacıyla belirli aralıklarla destekleme elemanları ile bağdaşık konverjans noktaları belirlenmektedir. Bunun en önemli nedeni tünellerde konverjans ölçümlerinin tünel destekleme elemanlarının denge durumuna ulaşım ulaşmadığını anlamaktır. Bu ölçümler, destekleme elemanları üzerine yerleştirilen noktaların hareketlerinin takibi esasına göre yapılmaktadır (Kovari, 1993).

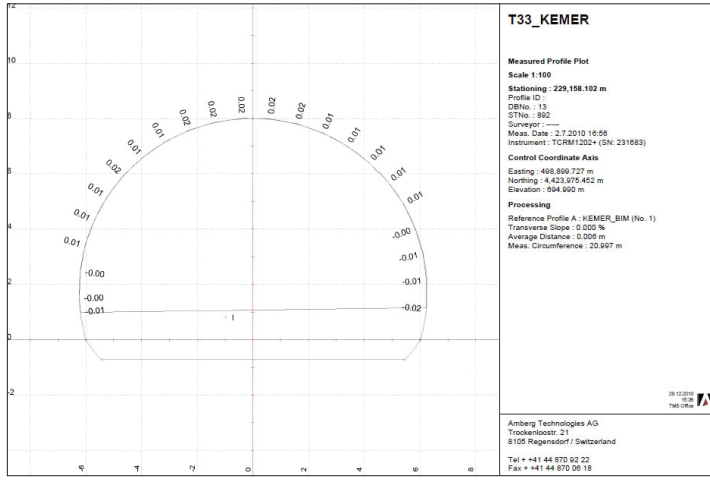
Birincil destek sistemi imalatı yapılan tünellerde üst yarıda oluşan deplasmanların belirlenmesi



Şekil 4. i) Şerit ekstansometre ölçüm noktaları, ii) Opto-trigonometrik ölçüm noktaları

amacı ile 10 metrelik periyotlarda, aynı ring üzerinde 5 noktada 0,01 mm hassasiyete sahip şerit ekstansometre vasıtası ile ölçümler yapılmıştır (Şekil 4). Ayrıca hareketlerin yönünün belirlenmesi ve tünel birincil destek sisteminin davranışının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla, üst yarıda 3 noktada 2 mm+2 ppm hassasiyette opto-trigonometrik ölçümler alınmıştır. Tünel üst yarı bölümleri ve ölçüm noktalarının yerleri Şekil 4’de gösterilmiştir.

Nihai kaplama beton imalatı yapılmadan önce tüneldeki deformasyonların sönümlenmesi beklenir. Dolayısıyla nihai kaplama beton imalatı yapılmadan önce tüneldeki deplasmanlar son bulmuş olmalıdır. Tünel kaplama beton imalatı tamamlanan noktalarda hareket olup olmadığının anlaşılması için total station aleti için geliştirilmiş tünel için tarama yazılımı kullanılarak tünelde bir yay boyunca 16 farklı noktada ölçümler alınmakta bu noktaların olması gereken konumunda olup olmadığına bakılmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Optik tarama değeri

#### 4.2. Tünel İçi Ölçümler

Tünellerden günlük olarak opto-trigonometrik ve şerit ekstansometre ile ölçümleri alınmaktadır. Kütahya'nın Simav ilçesinde yaşanan depreminin öncesinde ve sonrasında deformasyon ölçümleri alınmıştır (Çizelge 3). Ayrıca kaplama beton imalatı yapılmış tünellerde tünel içi tarama ölçümleri alınarak veriler değerlendirilmiştir. Alınan veriler tünellerin hareketini göstermekle birlikte beklenen değerlerin üzerinde ani hareketler olduğunda alınması gereken tedbirler konusunda da fikir vermektedir.

Tünel No	Kaplama Durumu	Ölçüm yeri KM:	Ölçüm Yöntemi	Deformasyon Yeri	Deformasyon Değeri (mm)*
BT-30 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	226+912,50	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	6,84
BT-30 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	226+912,50	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	9,74
BT-30 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	226+890,80	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	5,11
BT-30 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	226+890,80	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	10,1
BT-30 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	226+890,90	Opto-trigo.	Üst yarı omuz bölgesi	9

Tünel No	Kaplama Durumu	Ölçüm yeri KM:	Ölçüm Yöntemi	Deformasyon Yeri	Deformasyon Değeri (mm)*
BT-30	Birincil destek sistemi imalatı tamamlanmış	Tüm tünel	Opto-trigo.+Şerit eks.	Yok	Yok
BT-31	Kaplama beton imalatı tamamlanmış	Tüm tünel	Optik tarama	Yok	Yok
BT-32	Kaplama beton imalatı tamamlanmış	Tüm tünel	Optik tarama	Yok	Yok
BT-33	Kaplama beton imalatı tamamlanmış	Tüm tünel	Optik tarama	Yok	Yok
BT-34	Birincil destek sistemi imalatı tamamlanmış	Tüm tünel	Optik tarama	2-3	Yok
BT-35 Giriş	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	234+357,50	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	23,01
BT-35 Giriş	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	234+357,50	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	42,19
BT-35 Giriş	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	234+372,90	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	25,36
BT-35 Giriş	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	234+372,90	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	41,87
BT-35 Giriş	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	234+372,90	Opto-trigo.	Üst yarı omuz bölgesi	33,27
BT-35 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	235+005,40	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	37,25
BT-35 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	235+005,40	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	71,25
BT-35 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	234+991,00	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	32,57
BT-35 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	234+991,00	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	60,14
BT-35 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	235+005,40	Opto-trigo.	Üst yarı omuz bölgesi	52
BT-35	Birincil destek sistemi imalatı tamamlanmış	Tüm tünel	Opto-trigo.+Şerit eks.	Yok	Yok
BT-36 Giriş	Birincil Destek sistemi imalatı devam ediyor	241+153,50	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	78,24
BT-36 Giriş	Birincil Destek sistemi imalatı devam ediyor	241+153,50	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	101,21
BT-36 Giriş	Birincil Destek sistemi imalatı devam ediyor	241+166,40	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	47,16
BT-36 Giriş	Birincil Destek sistemi imalatı devam ediyor	241+166,40	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	71,39
BT-36 Giriş	Birincil Destek sistemi imalatı devam ediyor	241+154,00	Opto-trigo.	Üst yarı omuz bölgesi	54

Tünel No	Kaplama Durumu	Ölçüm yeri KM:	Ölçüm Yöntemi	Deformasyon Yeri	Deformasyon Değeri (mm)*
BT-36 Çıkış	Birincil Destek sistemi imalatı devam ediyor	243+342,00	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	57,26
BT-36 Çıkış	Birincil Destek sistemi imalatı devam ediyor	243+342,00	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	99,32
BT-36	Birincil destek sistemi imalatı tamamlanmış	Tüm tünel	Opto-trigo.+Şerit eks.	Yok	Yok

Çizelge 3. Tünel deformasyon durumu. (\* 19-20 Mayıs tarihleri arası gerçekleşen deformasyon değerleri)

Depremi ardından tünellerde yapılan ölçümler neticesinde tünellerdeki hareketlilik ile tünel destekleme durumu (Birincil/Nihai), imalat aşaması (Alt yarı-basanak-taban kemer) ve yerel kaya koşulu özelliklerinin doğrudan orantılı olduğunu sonucuna varılmıştır. Çizelge 4’de tüneller ve bu tünellere ait destekleme durumu, imalat aşaması ve yerel kaya koşulları özellikleri verilmektedir.

Tünel Adı	Uzunluk (metre)	Yerel Kaya Koşulları	Kaplama Durumu	Deformasyon Yeri	Deformasyon Durumu
BT-30	598	Grafit Şist	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	Üst yarı ayak bölgesi	10,1 mm
BT-31	300,6	Grafit Şist	Kemer beton imalatı tamamlanmış	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
BT-32	261,2	Grafit Şist	Kemer beton imalatı tamamlanmış	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
BT-33	258	Grafit Şist	Kemer beton imalatı tamamlanmış	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
BT-34	2218	Grafit Şist	Birincil destek sistemi imalatı tamamlanmış	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
BT-35	3256	Porsuk Formasyonu	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	Üst yarı ayak bölgesi	71,25 mm
BT-36	4100	Porsuk Formasyonu	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	Üst yarı ayak bölgesi	101,21 mm

Çizelge 4. Tünel destekleme durumu, imalat aşaması ve yerel kaya koşulları özellikleri

Toplanan verilerden yola çıkılarak tüneller öncelikle kaplama durumuna göre değerlendirilmiştir. Nihai beton imalatı tamamlanan (31, 32 ve 33 no’lu tüneller) tünellerde herhangi bir deplasman ile karşılaşılmaştır. Nihai beton imalatı tamamlanmamış tüneller ise kendi içlerinde öncelikle yerel kaya koşullarına göre ayrılmıştır. Bu kapsamda grafit şistlerde ve örgülü akarsu çökeli (Porsuk formasyonu) birimlerinde açılan tünelleri olarak değerlendirilmiştir. Grafit Şist içerisinde açılan tünellerde (30, 34 no’lu tüneller) özellikle ringi tamamlanmış noktalarda herhangi bir sorun gözlenmemiştir (Şekil 6-b,c,d,e). Ancak sadece üst yarı imalatı yapılan noktalarda deplasmanların 10 mm civarında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6-a). Porsuk formasyonu içerisinde açılan tünellerde (35 ve 36 no’lu tüneller) ise ringi tamamlanmış noktalarda herhangi bir harekete rastlanılmamıştır (Şekil 6-c,f). Ancak ringi tamamlanmamış noktalarda özellikle üst yarı - ayak bölgesinde 80-100 mm arasında değişen deplasmanlar ölçülmüştür. Ani oturmaların etkisiyle bu noktalardaki birincil destek sistemi elamanlarında burulmalar gözlenmiştir (Şekil 6-g).





a) 30 nolu Tünelden deformasyon ölçümü alınan nokta Km: 226+890,80



b) 33-34 nolu tünellerin kesişme noktası (33 nolu tünelde kaplama beton imalatı bitmiştir)



c) 35 nolu tünel de invert imalatı ve invert-üstüarı arasındaki deformasyon



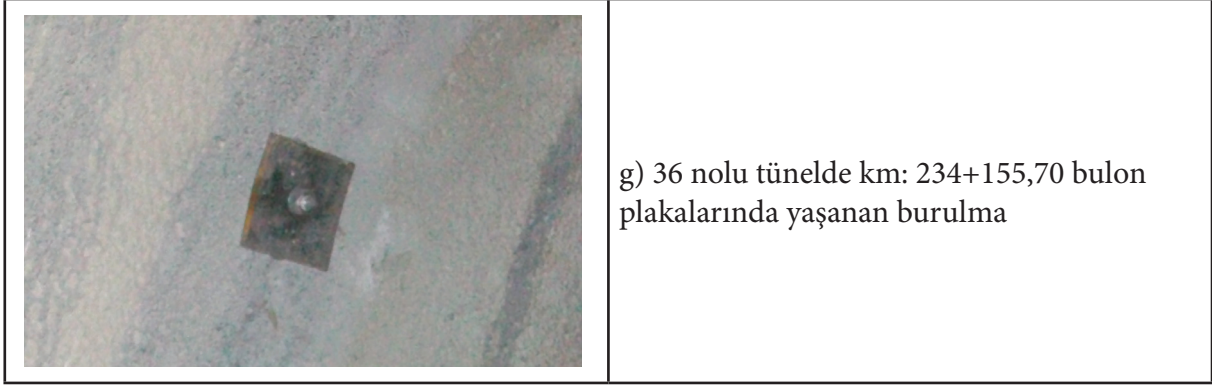
d) Kaplama beton imalatı tamamlanan 31 nolu tünel



e) Kaplama beton imalatı tamamlanan 32 nolu tünelin giriş kısmından görünüşü.



f) 36 nolu tünelde birincil destek sistemi imalatı tamamlanmış kısım



Şekil 6. Tünel fotoğrafları

## 5. Sonuçlar ve Tartışma

19 Mayıs 2011 tarihinde Kütahya'nın Simav ilçesinde yaşanan  $M_w=5,8$  büyüklüğündeki depremin Ankara-İstanbul Yüksek Hızlı Tren Projesinde bulunan 7 adet (30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 no'lu tüneller) tünele etkisi incelenmiştir. İncelemenin yapıldığı tünellerin toplam uzunluğu 10.991,8 metredir. Bu tünellerin deprem episentr noktasına en yakını 110 km (36 no'lu tünel) en uzağı ise (30 no'lu tünel) 117 km mesafede bulunmaktadır.

Tünellerde depremden sonra yaşanan deformasyonlar opto-trigonometrik, optik tarama ve şerit ekstansometre vasıtasıyla ölçülmüştür. Elde edilen veriler tünel kaplama durumuna göre değerlendirilmiştir. Nihai kaplama beton imalatı tamamlanan (31, 32, 33) tünellerde herhangi bir deplasmanla karşılaşılması. Kaplama betonu imalatı tamamlanmayan tüneller ise yerel kaya koşullarına göre değerlendirilmiştir. Grafit şist içerisinde açılan tünellerde (30, 34 no'lu tüneller) özellikle ringi tamamlanmış noktalarda herhangi bir sorun gözlenmemiştir. Bunun yanında sadece üst yarı imalatı yapılan noktalarda deplasmanların 10 mm civarında olduğu tespit edilmiştir. Porsuk formasyonu içerisinde açılan tünellerde (35 ve 36 no'lu tünellerde) ise ringi tamamlanmış noktalarda herhangi bir harekete rastlanmamıştır. Ancak ringi tamamlanmamış noktalarda özellikle üst yarı ayak bölgesinde 80-100 mm arasında değişen deplasmanlar ölçülmüştür.

Deprem odak mesafesinin 100 km. den daha fazla uzaklıkta olmasına rağmen oluşan sarsıntıının tünellerde deformasyonlara neden olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen deformasyon verileri değerlendirildiğinde, yerel kaya koşullarına ve tüneldeki kaplama durumlarına bağlı olarak değiştiği anlaşılmıştır. Kaplaması bitmiş ve ringi tamamlanmış (üst yarı, basamak ve taban kemer) tünellerde hareketin olmadığı buna karşın ringi tamamlanmayan tünellerde yer yer ani hareketlerin olduğu saptanmıştır. Özellikle üst yarı imalatı devam eden tünellerde birincil destek sisteminin oluşan sarsıntı ile gelişen plastik zonun yüküne karşı koyamayarak burkulduğu gözlenmiştir. Oluşan bu yükün ise kaya kütlelerinin anizotropik yapısına ve kaya kütlelerinin karakteristiği ile ilgili olduğu farklı kaya koşullarındaki değerlendirmeler ile anlaşılmıştır.

Deprem sonrası, zayıf-çok zayıf kaya koşullarında imalatı devam eden 36 no'lu tünelde üst yarı ayak bölgesinde oluşan hareketlerin durdurulması amacı ile birincil destek sistemi 12 metre uzunluğunda, kendinden delen bulonlarla desteklenmiştir. Buna ek olarak imalat adımları bir an önce tamamlanarak tünel geometrisi önerildiği şekliyle tamamlanmaya çalışılmıştır. Böylelikle tünel imalatı için önerilen deformasyon toleransları içerisinde kalınarak tünel imalatına devam edilmiştir.

## Kaynaklar

- Aksoy C.O., 2008. Review of rock mass rating classification: historical developments, applications and restrictions. *J Min Sci* 44(1), 51–63.
- Aykaç, S., 2005. Depremin zemin içi yapılarına etkisi [www.bayindirlik.gov.tr/turkce/dosya/deprem.pdf](http://www.bayindirlik.gov.tr/turkce/dosya/deprem.pdf)
- Borton, N., 2002. Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design. *Int J Rock Mech Min Sci.* 39, 185–216.
- Bieniawski Z.T., 1989. Engineering rock mass classifications. New York: Wiley.
- Dowding C. H., Rozen A., 1978. Damage to rock tunnels from earthquake shaking. *American Society of Civil Engineers, Journal of the Geotechnical Engineering Division.* 104(2): 175–191.
- Gözler, Z., Cevher, F., Ergül, E., Asutay, H.J., 1997. Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi, MTA Raporu, 9973.
- Hashash, Y.M.A., 2000. “Seismic behavior of underground structures and site response” Proceedings of the China-U.S. Millennium Symposium of Earthquake Engineering: Earthquake Engineering Frontiers in the New Millennium, Edited by B.F. Spencer, Jr. and Y.X. Hu,
- Hoek E, Marinos P, Benissi M., 2002. Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses: the case of Athens schist formation. *Bull Eng Geol Environ.* 57:151–60.
- Koçyiğit, A., Kaymakçı, N., Rojay, B., Özcan, E., Dirik, K., Özçelik, Y., 1991. İnegöl-Bilecik-Bozüyük arasında kalan alanın jeoloji etüdü, TPAO Raporu, 3049, 139 s.
- Kovari K, Amstad C., 1993. Decision making in tunnelling based on field measurements. In: Hudson J, editor. *Comprehensive rock engineering.* Oxford: Pergamon. 571–605.
- Marinos P, Hoek E., 2000. GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. In: *Proceedings of the GeoEng2000 at the international conference on geotechnical and geological engineering,* Melbourne, Technomic publishers, Lancaster, pp 1422–1446.
- Şimşek O, Aygar E.B, Eritin A, İnönü-Köseköy hızlı tren projesi 35 ve 36 No'lu tünel projeleri. SİAL Yer Bilimleri Ltd. Şti., Ankara, 2009.
- Youssef M.A. Hashash, Jeffrey J. Hook, Birger Schmidt, John I-Chiang Yao, 2001, “Seismic design and analysis of underground structures”, *ITA/AITES Accredited Material, Tunnelling and Underground Space Technology,* 16, pp 247-293.
- Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., Ankara-İstanbul Hızlı Tren Projesi (Köseköy-İnönü), 2004.
- Zahrah, T.F. and John, C.M.S., 1987. A seismic design of underground Structures, *Tunnelling and Underground Space Technology,* 2, 165-197.