



ANKARA – SİVAS DEMİRYOLU HIZLI TREN PROJESİ T-5 TÜNELİ YAPIM ÇALIŞMALARI

Ömer Sezgi HİÇYILMAZ¹, Mehmet ÖZÇELİK^{2*}

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim dalı, Isparta, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Hızlı tren,
NATM yöntemi,
Tünel desteklemesi,
Robit uygulaması,
Sivas.

Öz

Ankara-Sivas Yüksek Hızlı Tren Demiryolu Projesi kapsamında 9 adet tünel açılmıştır. Bu çalışmada, T-5 tüneline (840 m uzunluğunda) (Km 318+245-Km 319+085) Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) uygulanarak yapılan tünel kazısı ve destekleme çalışmaları incelenmiştir. Öncelikle, tünel kazısının yapılacağı güzergâhta kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerinin sınıflandırılması yapılmıştır. NATM, tüneli çevreleyen kayacın mevcut direncinin harekete geçirilmesi veya korunması ile yan kayacın büyük ölçüde kendi kendine destekler duruma getirilmesi prensibine dayanmaktadır. NATM ince bir püskürtme beton tabakası, uygun bir şekilde kaya saplamaları ile sağlamlaştırma ve kazı alanına mümkün olduğunca yakın bir şekilde yerleştirilen kemer betonunun kullanılması şeklinde uygulanmıştır. Kaya saplamaları ile birlikte kullanılan püskürtme betonun çelik hasır ve iksa ile desteklenmesi de NATM'in uygulama alanında kabul edilmektedir. T-5 tüneli ve diğer açılan tüneller, bölgenin jeolojik yapısından dolayı ayrıışmış-tamamen ayrıışmış birimler içerisinde geçmekte olup, bu nedenle değişik kazı ve destekleme şekillerinin kullanılması yapım sırasında kaçınılmaz olmuştur. Bu nedenle, halen yaygın olarak kullanılmakta olan NATM, Yüksek Hızlı Tren Demiryolu Projesi kapsamında yapılmakta olan tünellerde karşılaşılan örnekler ve uygulamaların incelenmesi mevcut deneyimlerin zenginleştirilmesi açısından önemlidir.

T-5 TUNNEL CONSTRUCTION WORKS IN ANKARA - SİVAS HIGH SPEED TRAIN RAILWAY PROJECT

Keywords

High speed train,
NATM method,
Tunnel support,
Robit application,
Sivas.

Abstract

9 tunnels have been opened within the scope of Ankara-Sivas High Speed Train Railway Project. In this study, tunnel excavation and supporting studies were performed by applying the New Austrian Tunneling Method (NATM) in the tunnel T-5 (840 m long) (Km 318 + 245-Km 319 + 085). First of all, the engineering features of the rock mass were classified on the route where the tunnel excavation would be carried out. The NATM is based on the principle of self-supporting the side rock by activating or protecting the existing resistance of the rock surrounding the tunnel. The NATM is applied as a fine shot concrete layer, the reinforcement with rock bolts as appropriate, and the use of arch concrete placed as close as possible to the excavation area. It is also accepted in the application area of NATM that the support concrete used with rock bolts is supported by steel mesh and shoring. The T-5 tunnel and other opened tunnels pass through weathered-completely weathered units due to the geological structure of the region, and therefore the use of various excavation and support forms has become inevitable during construction. For this reason, examining the examples and applications encountered in the tunnels being made under the high speed train railway project of NATM, which is still widely used, is important for enriching the existing experiences.

Alıntı / Cite

Hiçyılmaz, Ö.S., Özçelik, M., (2019). Ankara – Sivas Demiryolu Projesi T-5 Tüneli Yapım Çalışmaları, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(2), 321-329.

* İlgili yazar / Corresponding author: ozcelikmehmet@sdu.edu.tr, +90-246-211-1327

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
Ö.S. Hiçyılmaz, 0000-0002-9106-686X	Başvuru Tarihi / Submission Date	03.12.2018
M. Özçelik, 0000-0003-4511-1946	Revizyon Tarihi / Revision Date	08.01.2019
	Kabul Tarihi / Accepted Date	08.01.2019
	Yayın Tarihi / Published Date	26.06.2019

1. Giriş

Ankara-Sivas Yüksek Hızlı Tren Demiryolu Projesinin bir parçası olan Yerköy-Yozgat-Sivas (Km 282+600 – 332+300) Yüksek Hızlı Tren projesi; yarma, dolgu, menfez, viadük, alt geçitler, üst geçitler, tünel portal kazıları ve tünel kazı destekleme çalışmalarını kapsamaktadır (Şekil 1). Proje kapsamında yapılan mühendislik çalışmaları; 67 adet (15.029 m²) yarma kazısı, 64 adet (12.907 m²) dolgu alanı, 5 adet (155 m) üst geçit inşaatı, 7 adet (2.980 m) viadük inşaatı, 83 adet (341 m) menfez yapısı, 2 adet (60 m) dere geçiş

köprüsü, 1 adet (140 m) karayolu geçiş köprüsü, 12 adet (180 m) alt geçit inşaatı, 9 adet (17.908 m) tünel kazısı ve 1 adet istasyon inşaatını kapsamaktadır (DDY 2011; KTŞ 2013). Proje kapsamında yapılmakta olan 9 adet tünelden T-5 tünelinin kazı ve desteklemesi bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Km 318+245-Km 319+085 kesiminde inşa edilecek olan 840 m uzunluğundaki T-5 tüneli için; 7 tanesi giriş portalında, 4 tanesi çıkış portalında olmak üzere toplam 11 adet ek sondaj çalışması ile arazi ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır.



Şekil 1. Yer bulduru haritası

2. Bilimsel Yazın Araştırması

2.1. Tünel Duraylılık Analizleri

T-5 tünel güzergâhındaki jeolojik formasyonlar ile birlikte, portal yan şevlerinde bulunan zeminlerin tespiti ve T-5 giriş tüneli hesaplarında kullanılacak mühendislik parametrelerinin saptanması için tünel giriş bölgesinde 7 adet ek sondaj yapılmıştır. 7 adet sondaj çalışmaları sonucunda aglomera ve andezit birimlerine rastlanılmıştır. Sondaj sayısının fazla olması sebebiyle ve yapılan arazi gözlemleri doğrultusunda, portal kazısı şev hesaplarında kullanılacak parametreler ek olarak yapılan

sondajlara göre saptanmıştır. Sondaj verilerine göre 18 m' de aglomera kaya birimleri, daha sonraki 30 m' llerde andezit kaya birimleri saptanmıştır. Alınan karot örneklerinde yapılan laboratuvar deneylerinden aglomera ve andezit birimlerinin mühendislik parametreleri belirlenmiştir. Ayrıca, laboratuvarında Portal Şevinin Akma Bölgesinde yer alan aglomera birimleri için kayada doğrudan makaslama deneyi yapılmış ve deney sonuçları Tablo 1' de gösterilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen parametreler RockLab (RockLab V.0.1, 2007) analiz programında kullanılmıştır.

Tablo 1 Doğrudan Makaslama Deney Sonuçları (KMG Proje Mühendislik Müşavirlik Bilişim Teknolojileri Ltd. Şti. Rapor, 2014)

Kuyu No	Doruk Kohezyonu (kPa)	Doruk Sürtünme Açısı (°)	Artık Kohezyon (kPa)	Artık Sürtünme Açısı (°)	Birim Ağırlık (kN/m ³)
S-5	55,50	47,50	36,40	32,20	17,8

Elde edilen doruk ve artık değerleri sırasıyla numunenin ulaştığı maksimum nokta ve deplase olup yük almamaya başladığı andaki ölçülen dayanım değerleridir. Tasarım kriterleri göz önünde bulundurularak ve güvenli tarafta kalmak suretiyle doruk değerleri yerine ortalama dayanım değerleri kullanılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Tasarım Parametreleri (KMG Proje Rapor, 2014)

Kohezyon (kPa)	Sürtünme Açısı (°)
46	40

Andezit örneklerinden elde edilen tek eksenli basınç deneyi sonuçları ile birlikte RQD değerlerinden ve arazi gözlemlerinden yararlanılarak kaya puanlaması yapılmıştır (Tablo 3) (ISRM 1978).

Tablo 3. Süreksizlik Koşulu (SCR) ile Yapısal Özellik Puanı (SR) Hesap Tablosu (KMG Proje Rapor, 2014)

	Andezit	Aglomera	
RQD (%)	60	40	
σ_c (Mpa)	50	15	
Jv	16.67	22.73	
SR	30.57	25.14	
SCR	Pürüzlülük	1	1
	Bozunma	3	2
	Dolgu	2	2
	Toplam	6	5

Kaya puanlaması ve RQD sonuçlarından elde edilen sonuçlara göre, andezit birimi için GSI 28 olarak hesaplanmıştır. GSI değerleri ve tek eksenli basınç deney sonuçları RockLab (RockLab V.0.1, 2007) programında kullanıldığında zemin/kaya birimlerine ait mühendislik parametreleri ve zemin/kaya birimlerine ait Mohr-Coulomb parametreleri elde edilmiştir. Bu parametreler portal yan şevleri stabilite hesaplarında kullanılmak üzere aglomera birimi için; kohezyon 45 kPa, içsel sürtünme açısı 39° olarak bulunmuştur. Laboratuvarında yapılan makaslama deneyinden elde edilen 46 kPa kohezyon ve 40° içsel sürtünme açısı değerleri ile örtüşmüştür. Andezit birimi için kohezyon 167 kPa, içsel sürtünme açısı 44° olarak elde edilmiştir. Bulunan parametrelere göre giriş portal şev hesapları yapılmış ilk şev 16,5 m, ikinci şev 12 m yükseklikte kesilecektir. Her şevden sonra bir adet 5 metre genişliğinde palye teşkil edilerek, portal yan şevleri ve ayna üst şev eğimi 1/3 olarak belirlenmiştir.

Km 319+044 nolu sondajda ayrılmış çok zayıf kaya niteliğinde killi aglomera birimleri gözlenirken, ek olarak yapılan S-2 ve S-3 sondaj çalışmaları sonucunda karot sandıkları ve sondaj loglarında verilen RQD değerleri ile birlikte aglomera ana kayasının daha az ayrılmış birimleri gözlenmiştir. Bu sebep ile kazı hesaplarında kullanılacak parametreler ek olarak yapılan sondajlara göre değerlendirilmiştir. Yapılan S-

2 ve S-3 sondajlarında ilk 4 m' de tamamen ayrılmış kaya birimleri, daha sonraki 30 m' ye kadar ayrışma derecesi yüksek malzeme gözlemlenmiştir. Bu sebeple idealize zemin profili, tamamen ayrılmış aglomera, ayrılmış aglomera ve aglomera ana kayası olarak üçe ayrılmıştır. Sondaj logları, laboratuvar deney sonuçları kullanılarak aglomera ve andezit birimleri için mühendislik parametreleri belirlenmiştir. Aglomera kayacının tek eksenli basınç dayanımı 25 MPa olarak alınmıştır. Yine ayrılmış aglomera kayacının tek eksenli basınç dayanımı 20 MPa olarak alınmıştır. Mevcut sondajlarda verilen çok ayrılmış aglomera kayası için sadece portal ayna şevlerinde gözlemlenen zayıf kaya niteliğindeki tamamen ayrılmış aglomera birimleri için 10 MPa olarak alınmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Süreksizlik Koşulu (SCR) ile Yapısal Özellik Puanı (SR) Tablosu

	Tamamen Ayrılmış Aglomera	Ayrılmış Aglomera Yan Şev Yüzeyleri	Aglomera	
RQD (%)	0	65	75	
σ_c (Mpa)	10	20	25	
Jv	34.85	15.15	12.12	
SR	17.66	32.23	36.14	
SCR	Pürüzlülük	1	1	1
	Bozunma	1	1	2
	Dolgu	1	2	2
	Toplam	3	4	5

Tablo 4' de verilen SCR ve SR değerleri kullanılarak, kaya kütle parametreleri; tamamen ayrılmış aglomera birimleri için 19, ayrılmış aglomera birimleri için 25 ve aglomera birimleri için 27 kaya kütle puanı (GSI) hesaplanmıştır. GSI değerleri ve tek eksenli basınç deney sonuçları RockLab programı kullanılarak elde edilen zemin/kaya birimlerine ait Mohr-Coulomb parametreleri portal yan şevleri stabilite hesaplarında kullanılmıştır. Tamamen ayrılmış aglomera birimi kohezyon 53 kPa, içsel sürtünme açısı 24°, ayrılmış aglomera birimi için kohezyon 88 kPa, içsel sürtünme açısı 32° ve aglomera birim için kohezyon 103 kPa ve içsel sürtünme açısı 35° elde edilmiştir. Killeşmiş seviyeleri temsil etmek ve güvenli tarafta kalmak adına tamamen ayrılmış ve ayrılmış aglomera birimleri için kohezyon 35 kPa, içsel sürtünme açısı 30° olarak kullanılmıştır. Bulunan parametrelere göre çıkış portal şev hesapları yapılmıştır ve ilk şev 15 m, diğer şevler 10 m yükseklikte kesilecektir. Her şevden sonra bir adet 5 m genişliğinde palye teşkil edilecek, portal yan şevleri ve ayna üst şev eğimi 2/3 olarak belirlenmiştir.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Tünel Kazı Tipleri

Tünel güzergâhı boyunca her bir yapısal bölge için kazı tiplerinin belirlenmesi, tünel kazısının yapılacağı güzergâhta kaya kütlelerinin çeşitli mühendislik

özelliklerini göz önüne alarak ayrı ayrı sınıflandırılması mümkündür (Bieniawski 1984, 1989). NATM yaklaşımı, tüneli çevreleyen kayacın mevcut direncinin harekete geçirilmesi veya korunması ile yan kayacın büyük ölçüde kendi kendine destekler duruma getirilmesidir (Rabcewicz ve Golser 1973). NATM ince bir püskürtme beton tabakası ile uygun bir şekilde kaya saplamaları ile sağlamlaştırma ve kazı alanına mümkün olduğunca yakın bir şekilde yerleştirilen kemer betonun kullanılması şeklinde uygulanmıştır. Kaya saplamaları ile birlikte kullanılan püskürtme betonun çelik hasır ve iksa ile desteklenmesi de NATM'nın uygulama alanında kabul edilmektedir.

NATM'ye göre kaya sınıflamalarının belirlenmesinde izlenen sıra şu şekildedir. Tünel kazısı yapılan kaya kütlelerinin karakteristiğinin belirlenmesi; projeye esas teşkil eden jeolojik, hidrolojik ve jeoteknik bilgilerin tünelin kazısı sırasında yapılan jeolojik haritalamadan elde edilen bilgilerle karşılaştırılması. Kazı sırasında kaya kütleleri tipinin belirlenmesi için jeolojik haritalama sırasında elde edilen süreksizlik, varsa dolgu niteliği, su sızıntıları, ayrışma dereceleri, kayanın mukavemeti, aşırı sökülme, fayların tünel kesitine göre konumları ve etkileme alanı gibi bilgiler kullanılır ve kaya kütlelerinin davranışı bulunur (Barton vd. 1974). Buna göre kaya tipinin üç ana gruptan hangisine girdiği belirlenmelidir; A (duraylı), B (gevşek) ve C (baskılı). Tablo 5 de NATM kaya sınıflaması verilmiştir.

Tablo 5. NATM Kaya Sınıflaması (Ulusay ve Sönmez 2007)

Kaya Sınıfı	Kaya Davranışı	Açıklamalar
A Duraylı	A1 Duraylı	Deformasyonlar küçüktür ve çok hızlı azalır. Serbest kaya parçaları temizlendikten sonra dökülme olma eğilimi yoktur.
	A2 Sonradan Az Dökülen	Deformasyonlar küçüktür ve çok hızlı azalır. Tünel tavanında ve yan duvarların üst kısmında süreksizlikler ve kaya kütleleri zati ağırlığından sığ dökülmelerin olma eğilimi vardır.
B Gevşek	B1 Gevrek	Deformasyonlar küçüktür ve çok hızlı azalır. Patlatmadan kaynaklanan kayadaki gevşemeler ve kaya kütlelerinin düşük mukavemeti tünel tavanında ve yan duvarların üst kısmında sökülmelere neden olur.
	B2 Çok Gevrek	Deformasyonlar hızla azalır. Kaya kütlelerinin düşük mukavemeti patlatmanın etkisiyle hızla derinlere ulaşan gevşemeler olur. Bu nedenle desteklenmeyen kısımlarda kopmalar meydana gelir.
	B3 Taneli	Bölünmüş kazıda bile kaya kütlelerinde dökülmeler meydana gelir. Kohezyonun az olması ve az çimentolaşma kazının duraylılığında yetersizliğe neden olur.
C Baskılı	C1 Dağıtma	Yüksek ön gerilmeler kırılma kaya kütlelerinde elastik enerji depolanmasına neden olur. Bu enerjinin aniden yer değiştirmesiyle kayada kesme ve kaya yapısının ezilmesi ile birlikte kırılmalar olur. Desteksiz bırakılan kısımlarda kayalar parçalanmaya müsaittir. Kaya kütlelerindeki kırılmalar derine ulaşır.
	C2 Baskılı	Belirgin, uzun süren ve yavaş son bulan deformasyonlar gözlenir. Plastik davranışlı yüksek kohezyonlu kaya kütlelerinde yenilme gözlenir.
	C3 Çok Baskılı	İlk deformasyonlar yüksektir ve hızlı oluşur. Uzun sürer ve yavaş son bulurlar. Derine inen kırılma ve plastik bölgeler gözlenir.
	C4 Akıcı	Çok az kohezyon ve sürtünme, kaya kütlelerinin az plastik davranışı tünel içine malzeme akışına neden olur.
	C5 Şişen	Şişme potansiyelli kil minerali, tuz, anhidrit içeren kaya kütlelerinde su alımıyla meydana gelen hacim artışı nedeniyle gevşemeler olur.

3.2. Kazı Aşamaları ve Destekleme İşleri

Tünelcilikte yeni bir anlayışın ortaya çıkmasına yol açan NATM, özellikle çürük taş ve zeminlerde diğer yöntemlere göre büyük başarı göstermiştir. Bu yöntem, tünelin kendini, açıldığı kaya ortamına

taşıma ilkesine dayanmaktadır. Açılan bu boşlukta, boşluğu çevreleyen yan taşlarda ortaya çıkan kuvvetlerin kontrolü ile seçilen tahkimatın uygulanması, bu yöntemin ana unsurlarındandır. Koruyucu tahkimat olarak adlandırılan destek, zeminin dengelenmesini sağlar. Zemini taşımak için

kaya bulonları, püskürtme beton ya da beton kaplama ve invert betonu ile tahkimatın diğer bölümleri oluşturulur (Ulusay ve Sönmez 2007).

Tahkimatın ikinci bölümünde; beton içi kemer oluşturmadan önce, dış kemerin dengeye ulaşmasına özen gösterilmiştir. Bu yöntem diğer tünel açma yöntemleriyle birlikte de uygulanabilmektedir. NATM kaya stabilizasyonunu masif kayada kubbeli bir kemer meydana getirerek ve kayanın doğal dayanımını koruyarak sağlamaktadır. Bu amaçla, kazıdan hemen sonra kaya yüzeyine örgü-tel donatının basınçlı hava ile çabuk priz alan püskürtme beton tatbik edilmekte, çevreleyen kayaya, kaya bulonları yerleştirilerek zamana bağlı deformasyonlar kaydedilmektedir. T-5 tüneli delme-patlatma yöntemi ile açılmaktadır. Delme-patlatma yöntemiyle geniş kesitli tünellerde kazı hızını artırmak için tünel kesiti kademeli olarak kazılmaktadır. Kademeli kazıda tünelin kazı yüzeyi 3 kademede açılmaktadır:

1. Kademe üst yarı kazısı (kalot)
2. Kademe altyarı kazısı (stros)
3. Kademe taban kazısı ve betonu

Üst yarı kazısı zeminin patlatma yöntemiyle mi yoksa kazı yöntemiyle mi yapılacağı hakkında fikir vermektedir. T-5 tüneli sağlam olmayan bir kaya formasyonundan geçmektedir. Bu nedenle, tünelde sadece taban ve taban üstünde patlatma yapılmaktadır.

3.2.1. Robit Uygulaması

Tünellerin kazı tekniğindeki temel hedef, tünel duraylılığı ile beraber mevcut yapılaşma ve altyapıların olumsuz etkilenmesine neden olmayacak yöntem ve önlemlerin alınmasıdır. Bunun için deformasyonu önleyecek kazı ve imalat teknikleri kullanılmakta ve sonuçları incelenmektedir.

Yerleşim birimleri altında, zayıf zeminlerde yapılan kazılarda örtü tabakasının et kalınlığı az olan yerlerde ortamın başlangıçtaki dengesini koruması, ya da gerilme boşalmalarına bağlı gevşemeleri engellemek için robit uygulanmaktadır. Özellikle riskli bölgelerden geçerken ve zayıf zemin koşullarında

robit uygulaması yapılmaktadır. Tünel güzergâhında bulunan binalar, yeryüzünde oluşan oturmalar sonucunda hasar görebilmektedir. Bu hasarı önlemek için uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemde borunun tesis edileceği kazı proje kesitinin 50 cm dışında olması gerekmektedir. Bu pay boruların yerleştirileceği deliklerin delinmesi ve makinenin rahat çalışması için gerekli olmaktadır. Bu pay başlangıçta 3,00 m'lik bölümde ve yükselen iksalar monte edilerek 3,00 m'nin sonunda elde edilmektedir. Tünel cidarı çevresinde belirli uzunlukta, içi boş borular tünel aynasında içeriye doğru yerleştirilmektedir. Bu borular içinden enjeksiyon şerbeti pompalanarak tünel çevresinde yapay bir kabuk oluşturulmaktadır. T-5 tüneline robit uygulamasının tercih edilmesi tünel et kalınlığının en düşük 17,00 m; en yüksek 36,00 m olmasıdır. Et kalınlığı düşük olduğundan ve tünel aynasının bozmuş kaya malzeme olmasından dolayı robit uygulaması yapılmıştır. T-5 tüneli aşırı ayrılmış birimlerden oluştuğu için, kazı esnasında birim hava aldıkça aşırı sökümler oluşmuştur. Bu aşırı sökümleri ve deformasyonu en aza indirmek için tünelde robit uygulamasına başlanmıştır (Şekil 2-4).

Robit uygulaması için öncelikle tünelde yükselen iksalar kurulmaya başlanmıştır. Bu iksalardan ilk 6 tanesi yükselerek gitmiş 7. si ise düşük kurulmuştur. Son kurulan iki iksa arasındaki mesafe genelde 50 cm olarak ayarlanmıştır. Robit uygulamasına başlandığında delici makineler olan Jumbolar robit delgisine hazır hale getirilmiştir. Robit borular iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım 6,00 m' den oluşan ucunda döner kafası bulunan boru sürenler çakılmaktadır. Sonra, ikinci kısım 3,00 m den oluşan boru sürenler eklenerek delgiler 9,00 m ye tamamlanmaktadır. Delgileri tamamlanan borular içlerine tahliye hortumları konularak ağızları alçı sıva ile kapatılmaktadır. Daha sonra şaşırtmalı olarak enjeksiyon yapılmaya başlanmaktadır. Aşağıdan yukarıya doğru bir yapay örtü tabakası oluşturulmaktadır. Enjeksiyonları yapılan şemsiye sürenleri (umbrella arch) boruları 12 saatten uzun süre prize bırakılmaktadır. İkinci aşama olan İBO bulon uygulamasına geçilmektedir.



Şekil 2. T-5 tüneline robot uygulaması



Şekil 3. T-5 tüneline robot uygulaması tamamlanmış ama enjeksiyonları yapılmamış robotlar



Şekil 4. T-5 tüneline enjeksiyonları tamamlanmış robotlar ve kazı aşaması

3.2.2. İBO Bulon Uygulaması

İBO bulon aslında kendinden delen bulon sistemidir. İçi boş, dış kısmı yivli bulon ile delme işlemi yapan bit' ten oluşur. Ankraj ve enjeksiyon işlemi tek seferde yapılmaktadır. İçi boş bulon, delme işlemi sırasında

hava ve suyun serbestçe geçerek kırıntıların atılmasını ve delme işlemi tamamlanınca da enjeksiyonun hemen yapılmasını sağlamaktadır. Enjeksiyon şerbeti bulon içi ile kayaç arasındaki boşluğu tamamen doldurmaktadır. Taşıma plakası ve ankraj kafası gereken gerilmeyi sağlarken, kaplinler de bulon' ları birbirine bağlayarak gereken boyu sağlamaktadırlar (Şekil 5).

Zayıf zemin koşullarında kaya bulonlarının üstlenmediği durumları İBO bulon yöntemiyle sağlama alınır. Değişik zemin şartlarında kaya bulonlara göre basit ve benzer çalışma esaslarına sahiptirler. Delme, yerleştirme ve enjeksiyon uygulamaları İBO bulon ve ankraj ile tek bir operasyonel işlem yapılarak uygulanmaktadır. T-5 tüneline zemin bozuk olduğundan, bulonlama işlemi İBO bulon şeklinde yapılmaktadır. Tünel kaya sınıfı C3 kaya sınıfı olduğundan üst yarıda şaşırtmalı olarak 19 ile 20 arasında İBO bulon montajı yapılmaktadır. İBO bulonlarının montajı yapıldıktan sonra bir kenarından 50 cm' lik bir tahliye hortumu konarak alçı sıva ile ağzı kapatılmaktadır. Daha sonra içi boş İBO bulonlar yüksek basınçlı pistonlu enjeksiyon setleri ile enjeksiyonları yapılmaktadır. İBO bulonların içinden giden enjeksiyon şerbeti, İBO bulonun ucundan çıkarak yanlardan geri dönüş yapmaktadır. Geri dönüş esnasında bulunduğu kırıklı çatlaklı yollardan tüneline zayıf noktaları birbirine çimentolanmış olmaktadır. Tüneline oluşabilecek deformasyonlar en aza indirgenerek güvenli bir çalışma ortamı elde edilmektedir.



Şekil 5. İBO Bulon enjeksiyonları ve kemer (kuşak, bandaj) iksaları

3.2.3. Kontakt - Konsolidasyon Enjeksiyonu Uygulaması

Tünel enjeksiyonu işleminde, betonun sertleşmesi bakımından, beton döküm tarihinden itibaren en az bir ay sonra enjeksiyona başlanması son derece önemlidir. Tünelde genellikle iki tür enjeksiyon yapılmaktadır. Birincisi kontakt enjeksiyonu, ikincisi konsolidasyon enjeksiyonudur. Ayrıca bu işlemlerin başarılı ve güvenli olması için, daha sonra kesitler

arasındaki muhtemel boşlukları doldurmak amacıyla kontrol enjeksiyonu yapılmaktadır. Son olarak, araştırma ve test kuyularıyla bu işlemler denetlenmektedir. Test sonucu başarısız olan kuyular için onarım enjeksiyonuna başlanılmaktadır.

3.2.3.1. Kontakt Enjeksiyonu

Kontakt enjeksiyonunun temel amacı, beton ile zemin arasındaki boşlukları doldurmaktır. Kontakt enjeksiyonu kazı esnasında aşırı sökülme oluştığı yerlere, su gelirin yakın bölgelerine ve deformasyonun yoğun olduğu bölgelere yapılmaktadır. Aşırı sökülme olduğu kesimlerde tünel kazı alanı ile zemin arasındaki boşlukların yapay bir örtü haline getirilip deformasyona uğratmaması ve güvenli bir çalışma alanı yaratmak için yapılmaktadır. Su gelirin yakın bölgelerinde yapılmasının amacı ise; tünel kazı alanından suyun uzak tutulması içindir. Deformasyonun fazla olduğu kısımlarda tünel kazı alanında boşluklar veya baskıdan kaynaklı tünel kazı alanının daralmasına ve göçüklerin başlamasına neden olmaktadır. Bu durumların yaşanmaması için, deformasyon olan kısımlara kontakt enjeksiyonu yapılmaktadır. Bu aşamada bir süre deformasyonlar gözlenmektedir. Eğer kontakt enjeksiyonu görevini tam anlamıyla yapmış ise deformasyonlar engellenmiş olur. Tünelde güvenli bir çalışma ortamı ile tünel ilerlemesine başlanabilmektedir.

3.2.3.2. Konsolidasyon Enjeksiyonu

Konsolidasyon enjeksiyonunun amacı, beton çevresindeki kayaların stabilitesinin sağlanmasıdır. Konsolidasyon enjeksiyonu, kontakt enjeksiyonu tamamlandıktan sonra, delinecek araştırma kuyularından alınan karotların değerlendirilmesi sonucunda, zayıf kaya koşulları ve sızma problemleri olan bölgelerde yapılması öngörülür. Konsolidasyon enjeksiyonuna, tünel kazısı tamamlandıktan sonra başlanmalıdır. Bu süre tünelde oluşabilecek deformasyonların en aza indirilmiş olması için gereken süredir. Konsolidasyon enjeksiyonu için her ano' da 3 sıra şeklinde, her sırada 4 kuyu delinmektedir. Kuyu tertip şekli saat ibresi yönünde 'A, B, C ve D' olarak gösterilmektedir. Birbirini takip eden kesitlerde kuyular şaşırtmalı olarak delinmektedir. Kuyu boyları beton yüzeyinden itibaren 6,00 m' dir. Enjeksiyon 2 kademede yapılmaktadır. Birinci kademe 2,50-6,00 m arası, ikinci kademe 0,00-2,50 m arası kısımda enjeksiyon yapılmaktadır. Her iki kademede 5 kg/cm² refü koşulu sağlanmaktadır. Refü sağlanana kadar işleme devam edilmektedir.

4. Araştırma Bulguları

4.1. Baskıyı Önlemek İçin Yapılan İlave Uygulamalar

4.1.1. Kemer (Kuşaklama, Bandaj) İksaları

T-5 tüneline deformasyona bağlı olarak iksa aralığı 0,50 - 0,80 m arasında kurulmuştur. Ancak tünel kazı alanı ayrılmış killi aglomera ve türevlerinden olduğundan sürekli deformasyonlara maruz kalmıştır. Tünel iksaların önce ayaklardan sonra da omuzlardan baskı yemesini en aza indirmek için, belli aralıklara ikinci sıra iksa kurulumu yapılmıştır. Bunlara kemer (kuşak, bandaj) iksaları denilmektedir. Bandaj iksalarının avantajı iksa yüzeyine gelen baskı kuvvetini paylaşmaktır. Şekil 6' da kemer iksaları uygulaması görülmektedir. Kemer iksalarından 3 iksayı baz alarak yeni bir iksa kurulmuştur. Bu durumda 3 iksaya gelen baskıyı, 4 iksaya eşit oranda paylaştırarak baskıyı en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. T-5 tüneline iksalar sürekli yükselerek giden iksa olduğundan bandaj iksaları kesite girmemiş bulunmakta ve normal tünel iksası gibi çift kat hasır, püskürtme beton ve bulonlamaları da yapılmaktadır.



Şekil 6. T-5 tüneli kemer iksaları ve ayna robot delgisi çalışması

4.1.2. Portal Kütle Duvarı

Sondaj verilerinden T-5 tüneline et kalınlığı oldukça düşük miktarda olduğu saptanmış ve T-5 tüneli çıkış portalında kütle hareketi gözlemlenmiştir (Şekil 7). Tünel portal kazısı nebati toprak ve ayrılmış killi aglomera birimden oluşması ve suyu gördükçe birimlerin genişlemesine neden olmuştur. Bu durumda tünel girişinde bir göçük yaşanma riski meydana gelmiştir. Bu riskin en aza indirgenmesi için portal şevlerine bir kütle duvarı yapılmıştır. Ağırlık duvarının boyutlarının belirlenmesi amacı ile Slide v6.0 bilgisayar programı ile geri analizler yapılmış olup, kayma anındaki parametreler bulunmuştur. Bu

amaçla kullanılan parametreler ilk etapta KMG proje tarafından hazırlanmış olan T-5 tüneli çıkış portalı raporunda kullanılan parametreler baz alınmış; daha sonra güvenlik faktörünün 1.0 olduğu durumdaki parametrelerde değişiklik yapılarak FS=1.0 olduğu durum için parametreler belirlenmiştir. Kütle duvarının yüksekliği üst yarı kazısına göre 6,00 m alt yarı kazısına göre de 1,00 m olarak hesaplanmıştır. Genişliği 4,60 m olarak kabul görmüştür.



Şekil 7. Tünel girişi portalında oluşan çatlaklar

5. Sonuç ve Tartışma

Ankara-Sivas Hızlı Tren Projesi kapsamında yapılmakta olan Yerköy-Yozgat-Sivas (Km 282+600 – 332+300) arasındaki T-5 tüneli (Km 318+245 – 319+085) kazısının yapılması için öncelikle tünellerin güzergâhının zemin koşullarının araştırılması ve projelendirmeye esas parametrelerin belirlenmesine yönelik olarak jeolojik-jeoteknik çalışmalar yapılmıştır. Tünel zemini ve etkilenme bölgesini oluşturan kaya ortamlar RQD, SCR ve SR sistemlerine göre sınıflandırılmış ve NATM kaya sınıfı eşdeğerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu sınıflandırmalar incelenmiş ve uygunluğu yorumlanmıştır. Bu sınıflamalara bağlı olarak çeşitli destekleme terkipleri belirlenerek tünel kazısı için NATM kaya sınıflamasına karşılık gelen B1, B2, B3, C2 ve C3 destek terkipleri kullanılmıştır.

Projede robıt uygulaması, İBO bulon uygulaması, bandaj (kuşaklama, kemer) iksaları ve portal kütle duvarı, tünelde meydana gelen deformasyonlara bağlı olarak projeye dahil edilmiştir. Bu proje kapsamında C2 destek terkiibi ile toplam 578,00 m tünel desteklenmiştir. Bu 578,00 m tünel desteklemesinde toplam 546 adet NPI-160 iksa profili, 9225 adet ϕ 26'lık L=6,00 m kaya bulonu, 4621 adet L=9,00 m robıt borusu, 347 adet ϕ 32'lik L=8,00 m İBO bulon, 14675 m³ püskürtme betonu (shotcrete), 283 m³ enjeksiyon şerbeti kullanılmıştır.

Bu proje kapsamında C3 destek terkiibi ile toplam 262,00 m tünel desteklenmiştir. Bu 262,00 m tünel desteklemesinde toplam 317 adet NPI-200 iksa profili, 4042 adet ϕ 26'lık L=6,00 m kaya bulonu, 3496 adet

L=9,00 m robıt borusu, 1469 adet ϕ 32'lik L=8,00 m İBO bulon, 11536 m³ püskürtme betonu (shotcrete), 3468 m³ enjeksiyon şerbeti ve 45 adet NPI-160 kemer (kuşaklama, bandaj) iksası kullanılmıştır.

Tünel kazısı, zemin koşulları ve tünel çapına bağlı olarak genelde üstyarı/altyarı şeklinde, zemin koşullarının kötüleştiği kısımlarda üst yarı ve alt yarı kazısı da kendi içinde birkaç bölümde aşamalı olarak yapılmıştır. Aglomera biriminin geçildiği kesimlerde tünel kazısında patlayıcı madde kullanılmıştır. Yapılan kazı çalışmasında ekskavatör ve patlayıcı madde ile gidilen mesafeler belirlenmiş ve bunlar hakkında bilgi verilmiştir. Bunlar incelendiğinde;

Ekskavatörlerle kazı işleminde toplam 792,80 m ilerleme sağlanmıştır. Geriye kalan 47,20 m' lik kısım patlayıcı madde kullanılan kısımdır. Tünel aynasının patlayıcı kullanılan topuk kısımlarındaki seviyeler kazı sırasında çok fazla uğraşılan bölgelerdir. Bu bölgelerde taban ve taban üstü olmak üzere 2 sıra delgi ve delgi boyları 1,50 – 2,00 m arasında yapılip çürütme patlatmaları yapılmıştır. Toplamda 1320 kg patlayıcı madde kullanılmıştır.

Bununla birlikte, delme-patlatma olarak öngörülen T5 tünelinin ayrıışmış killi aglomera birimden olması tünel kazı çalışmalarının aksamasına ve hesaplanan zamandan daha fazla sürede tamamlanmasına neden olmuştur. Son olarak, tünel kaplama betonuna başlanmıştır.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- Barton, N., Lien, R., Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of rock support. *Rock Mechanics* 6, 189-236
- Bieniawski, Z.T., 1984. *Rock mechanics design in mining and tunneling*. A.A. Balkema, Rotterdam, 272 pp.
- Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering rock mass classifications*. John Wiley & Sons, New York, 251 pp.
- DDY (Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü Yapım Dairesi Başkanlığı), 2011. Ankara-Sivas Demiryolu Projesi İkmal İşi I. Kesim (Km 282+600-332+300) Veri Paketi 1(9),45-58
- KMG (KMG PROJE Mühendislik Müşavirlik Bilişim Teknolojileri Ltd. Şti.) Proje Rapor 2013. Ankara-Sivas Hızlı Tren Projesi Yerköy-Yozgat-Sivas Arası

- Altyapı İkmal İnşaatı Kesimi T5 Tüneli Giriş ve T5 Tüneli Çıkış Portal Kazıları Hesap Raporu, KMG Proje.
- KMG (KMG PROJE Mühendislik Müşavirlik Bilişim Teknolojileri Ltd. Şti.) Proje Rapor 2014. Ankara-Sivas Hızlı Tren Projesi Yerköy-Yozgat-Sivas Arası Altyapı İkmal İnşaatı Kesimi T5 Tüneli Göçük Değerlendirme ve Çıkış Portal Stabilite Değerlendirme Raporu.
- KTŞ (Karayolları Teknik Şartnamesi), 2013. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Rabcewicz, L.V., Golser J., 1973. Principles dimensioning the support system for the new Austrian tunnelling method. Water Power, March 1973, pp. 88-93
- RockLab V.0.1., 2007. Rock Mass Strength Analysis using the Generalized Hoek-Brown Failure Criterion. Rocscience Inc.
- Slide v6.0., 2014. Şev Analiz Programı Rocscience Slide,Toronto-Kanada
- Ulusay, R., Sönmez, H., 2007. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No:60, 243 s. Ankara.