

Yusufeli T1 Tünelinin Enjeksiyonlu Kaya Saplamları üzerine bir Değerlendirme

An Investigation of rock bolt injections used in the Yusufeli T1 tunnel

Atıla Gürhan Çelik¹

¹Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 28200, Giresun/Türkiye

* sorumlu yazar, e-posta: atila.celik@giresun.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Yusufeli T1 tüneline uygulanan tünel açma yöntemleri incelenmiş, kazı işlemleri ve sonrasında tünel desteklemesinin nasıl yapıldığı, kullanılan destek elemanlarının uygulaması, miktarı ve bu konuda değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen bilgilerle tünel tipleri ve destekleri belirlenmiştir. Çalışma, NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu) uygulanarak açılan bir tünelde yapılan mühendislik çalışmalarını içermektedir. Çalışma kapsamında Yusufeli ayrımı devlet yolu mevcut güzergahı boyunca yapılan tünellerden birincisi olan T1 tüneli incelenip yapım aşamasında belirli kilometreler arasında yapılan enjeksiyonlu kaya saplamları araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Tünel, Tünel açma yöntemleri, NATM, Kaya bulonu, Dayanım, Karot, Enjeksiyon

Abstract

This study examines the tunnel boring methods employed in the Yusufeli T1 tunnel. This study examines the tunnel support system implemented during and after excavation, the application and quantity of support elements used, and their evaluations. The information obtained allows us to determine tunnel types and their supports.. The study includes engineering work on a tunnel opened using the NATM (New Austrian Tunneling Method). The T1 tunnel, the first of several tunnels to be built along the current Yusufeli junction state highway route, was examined and the grout rock bolts installed at specific intervals during construction were investigated.

Keywords: Tunnel, Tunneling methods,, NATM, Rock bolt, Strength, Core, Injection

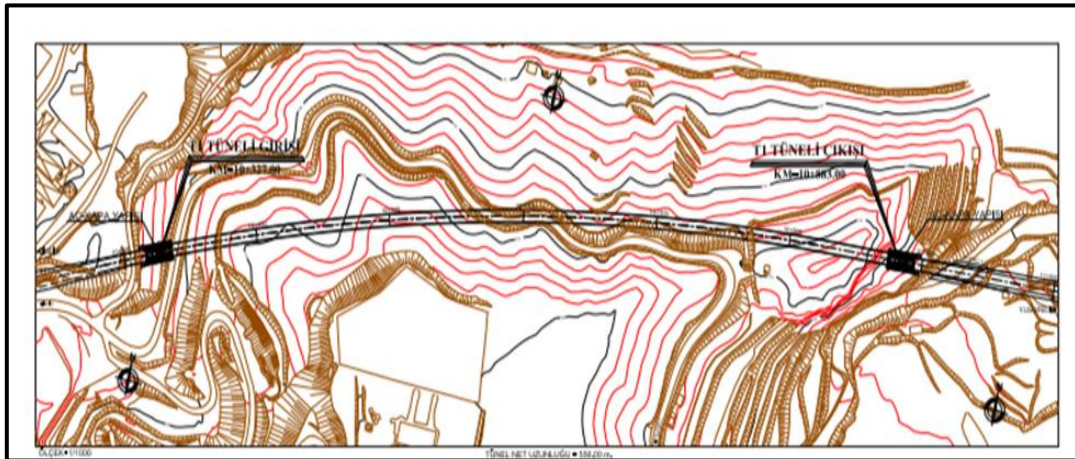
1.GİRİŞ

Günümüz uygulamalarında en çok karşımıza çıkan ve bilinen iki yöntemden biri; NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma) diğer yöntem ise ADECO-RS (Kaya ve Zeminlerde Kontrollü Deformasyon Analizi) adı verilen yöntemdir. Her iki yöntem de kaya kütle davranışını çeşitli şekillerde kategorize etmiştir. Tünel tasarımının gerçekçi olarak yapılabilmesi için yerinde modeller kullanarak gerçek verilerle test yapmak en doğru ancak pahalı seçenektir (Cormejo, 1988; Tamez, 1985; Ellsetien, 1986; Oke, 2014a ve 2014b). Tünel ayna stabilitesinin önemini vurgulayan çeşitli araştırmacılar (Lunardi 2008; Oreste, 2009 ve 2011), son dönemlerde tünel aynasının fiber bulonlar ile sağlamlaştırarak tam kesit tünel kazısı yapabilmek amacıyla zemin deformasyonunu en aza indiren ADECO-RS metodunu geliştirmişlerdir (Aygaz ve Gökçeoğlu, 2020). Literatürde mevcut çok sayıda yapılan çalışmada NATM yöntemi ile oluşturulan tünellerin güvenli bir şekilde açılmasında önemli yer tutan parametreler araştırılmıştır. NATM’de temel mantık kaya kütlesi içerisinde kontrol edilebilir ve limitli bir konverjans

seviyesinde deplasmanları durdurarak ölü yük oluşumunu engellemek, kaya kütlelerinin kontrolsüz gevşemesini önlemek, plastik zondaki kütlelerin ölü yükünü tahkimata taşıtmamak, kaya kütlelerini kendi iç sürtünmeleri ile kendisine taşıtmaya yardımcı olmaktır. NATM'in keşfinde kaya saplamalarının yaygınlaşması önemli bir rol oynamıştır. Kaya saplamaları kaya kütlelerini gevşetmeyerek kayanın kendi yükünü taşımasına katkı sağlayacak nitelikte çalışan güçlendirme elemanlarıdır. Kaya saplamaları ve püskürtme betonun birlikte kullanımı NATM'in karakteristik özelliklerinden biridir. NATM tünellerinde yaygın kullanılan, temel ve en tipik tahkimat/güçlendirme türlerinden biri kaya saplamalarıdır (Emiroğlu, 2010; Kahyaoğlu, 2015; Zhao vd., 2023; Kolymbas, 2005; Komurlu ve Kesimal, 2015; Bozlar, 2019). Bu araştırma kapsamında, kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini belirlemek için arazi ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda, kaya bulonu (saplaması) enjeksiyon ilişkisi değerlendirilmiş ve çimento dolguların yeterli mukavemeti sağlama durumu incelenmiştir. Bu çalışmada incelenen Yusufeli T1 tüneli, Karadeniz-Doğu Anadolu bağlantısını sağlayan önemli bir ulaşım kanalı olması ve ağır taşıt trafik hacminin bulunması nedeniyle mevcut güzergahın yüksek standartlı ve konforlu bir yol ile yenilenmesi amacı ile açılmıştır. Bu güzergah boyunca yapılacak tünellerden birincisi olan T1 Tüneli incelenip 10+327-10+883 kilometreler arasında uygulanan kaya saplama-enjeksiyon çalışmaları incelenmiştir.

2. MALZEME ve YÖNTEM

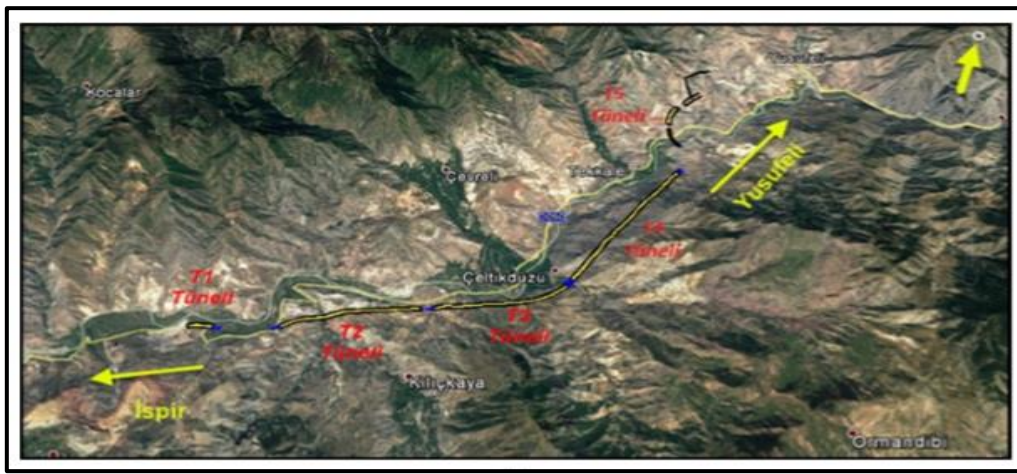
Aşağıdaki şekil Yusufeli Barajı yapılması nedeniyle baraj gölü altında kalacak olan; mevcut güzergahta yeni yapılmakta olan 556 m uzunluğunda olan T1 tünelinin başlangıç ve bitiş güzergahının yer aldığı T1 tüneli baş paftasını göstermektedir (Şekil 1).



Şekil 1. T1 Tüneli baş paftası

2.1. İnceleme alanının yeri

T1 Tünelinin üzerinde bulunduğu 12. Bl. Hd.-Yusufeli-(Artvin-Erzurum) Ayrımı. Devlet Yolu (Sağ Sahil), 12. Bölge Hududunun 10 km ilerisinde Kılıçkaya ayrımının 3 km öncesinde başlayan; Yusufeli ilçesinin 4 km gerisinde sonlanmakta olan yaklaşık 14.5 km uzunluğundaki güzergahta bulunan T1 tüneli incelenmiştir. Aşağıdaki şekilde yapılmakta olan projenin başlangıç ve sonunun belirtildiği T1 tünelinin olduğu güzergahın ve çevresinin de yer aldığı bulduru haritası ve T1, T2, T3, T4 ve T5'in yer aldığı tüneller ve güzergahları verilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Tünel (T1-5) güzergahları.

2.2. Tünel kazı ve destek sistemleri

T1 Tüneli NATM sınıflaması ve zemin parametreleri ile kazı ve destek sistemleri belirlenmiş ve Tablo 1’de sunulmuştur. Sınıflandırmalara uygun olarak destek sistemleri belirlenmiştir. Her bir kademe uzunluğu ve kaya sınıfı ilk olarak kazı aynasında görülen jeolojik yapıya göre belirlenmiştir. T1 tünelinde de zemin yapısına bağlı olarak yapılan sınıflandırma neticesinde C3 destek sistemi kullanımı uygun görülmüş ve çalışmalar buna göre devam etmiştir. C3 Destek Sınıfı; “çok baskılı” kaya kütlesi olarak adlandırılır. C3, derin zayıflık zonlarının oluşması, başlangıçta yüksek ve hızlı deformasyonlar ile karakterize edilmektedir. Tüm tavan kesimi üzerinde süren boru kullanımı gerekmiştir. Süren için delme veya benzeri işlemlerin aynadaki veya tavandaki kaya kütlesi üzerindeki olumsuz etkileri önlenmiştir. Üst yarı kazısında alt bölümlere ayrılmış en kesit ve geçici ring yapıları gerekli bulunmuştur. Üst yarı kazısı aynasından 25-50 metre geride taban kemerinin ring kapaması gerekmiştir.

Tablo 1. NATM tünel kaya sınıflandırması

Kaya Sınıfı	Tanımlaması
A1	Duraylı
A2	Hafif sonradan dökülen
B1	Gevrek
B2	Çok gevrek
B3	Gevşek
C1	Baskılı
C2	Çok baskılı
C3	Aşırı baskı yaratan
C4	Gevşek zemin
C5	Aşırı şişme yaratan zemin

2.3. Kazı

NATM' a göre kazılar bölünerek yapıldığından tünel kesiti üst yarı ve alt yarı olarak ikiye ayrılmaktadır. C sınıflandırmasında zemin yapısından dolayı göçmeleri engellemek için zorunlu olarak invert (halka kapama işlemi) uygulanmaktadır. C2-C3 sınıflamaları dışındaki kazılar delme patlatma ile yapılırken T1 tüneline de görüldüğü üzere C3 sınıfındaki uygulamalarda ise kazılar hidrolik kırıcılar kullanılarak mekanik kazı olarak gerçekleştirilmektedir. Tünellerde yapılan bulon, süren, patlatma dalgileri için sepetli jumbolar kullanılmaktadır. Patlatmalarda uygulama yerine göre anfo, dinamit ve gecikmeli elektrikli kapsüller kullanılmıştır.

2.4. Kaya saplamaları

T1 tüneli aşırı baskı yaratan C3 sınıfı bir tünel olması nedeniyle uygulamada birincil destekleme elemanlarından biri olan kaya bulonlarından Ø32-IBO bulon 1.00×0.50-1.00 bulon aralığında ve 8m bulon uzunluğunda uygulanması tercih edilmiştir. IBO bulon uygulamasında ön delme işlemi gerektirmez. Yerleştirilmesinde boşluk ihtiyacı çok azdır. IBO bulonlar, delme işleminin hemen sonrasında enjeksiyon deliği içine basılarak uygulanır. Enjeksiyon miktarı ve bulon aralıklarında karşılaşılan zemine göre değişiklik yapılmıştır.

2.5. Çelik iksa

Çelik iksaların tahkimat mantığı gevşeyen kaya kütesinin aktif olarak taşınması prensibine dayanmaktadır. Çelik iksa kazı yapılan tünel kesitinde püskürtme betonu dayanımını kazanıncaya kadar geçen sürede yapım güvenliğini sağlar, püskürtme betonda yük dağılımına

yardımcı olmak amacıyla kullanılır. T1 tüneline de zemin yapısına uygun olarak I200 tipi çelik iksalar $\leq 1.00\text{m}$ olacak şekilde yerleştirilmiştir. Çalışma esnasında karşılaşılan zemin formasyonuna göre çelik iksa tipi ya da aralığında değişiklikler yapılmıştır.

2.6. Süren

Tünel kazı işlerinde gereken kazı öncesi iksa elemanıdır. Sürenler, kazıyı takiben aşırı sökülme çökme veya malzeme akmasına temayüllü kaya ve zemin şartlarında uygulanmaktadır. Sistemin emniyetini sağlamak ve aşırı sökülmeyi önlemek üzere çelik iksa montajıyla her zaman bağlantılı olan sürenler, şartların gerektirdiği tarzda yerel veya sistematik olarak uygulanırlar. T1 tüneli zayıf kısımlarda et kalınlığı oldukça düşük olduğu için kendinden delmeli enjeksiyonlu süren kullanılması uygun görülmüştür.

2.7. Püskürtme beton

T1 tüneline uygulamalarda yaş sistem kullanılmıştır. Yaş sistem, karışım suyu ilave edildikten sonra uygulanan püskürtme betondur. Karışım yaş olarak hazırlanır. Yaş sistem 1m^3 için en az 400 kg çimento, 1.700-1.800kg ince agrega, %2 kimyasal ve $S/\text{Ç}=0.40$ karışım ve TS EN 14488-3 standardına uygun olarak hazırlanmaktadır. Çimento, agrega ve su ile karıştırıldıktan sonra basınçlı hava ile istenilen yüzeye püskürtülür. Püskürtme beton yapımında kullanılan ekipman, belirlenen en büyük tane çaplı agregayı karıştırmaya ve püskürtmeye uygun olmalı ve iyi bir sonuç elde edilmesi amacı ile kullanılan ekipmanların yapılan işlemlerden sonra temizlenmesi önemlidir. T1 tüneline C3 destek sınıfında uygulamada püskürtme beton sınıfı olarak C25/30 beton sınıfı kullanılırken genel olarak püskürtme beton kalınlığında 30cm olarak uygulanmıştır. Püskürtme betonlarda genelde yeterli mukavemeti sağlaması, ucuz olması ve kolay üretilebilirliğinde dolayı C25/30 sınıfı tercih edilmektedir.

2.8. Enjeksiyon

Kaya tabakalarında yapılan enjeksiyonlar sadece çimento şerbeti enjekte edilmesiyle başlayacaktır. Enjeksiyonlar emilmesine bağlı olarak su/çimento(0.45) oranı dayanım ve aderans bakımından daha sonra azaltılabilecektir. Enjeksiyonlar sadece çimento şerbeti ile çimento/ kum ile kil veya bentonitli şerbetler halinde kullanılmıştır.

2.9. Deneyler ve uygulamalar

Tünel yapımı sırasında mekanik kazıcılar, IBO bulonlar, sürenler, çelik hasırlar, püskürtme beton, çelik iksalar, enjeksiyon bağlantıları sağlamak için ise işbanlar kullanılmıştır. Bu çalışma

kapsamında karot alma, slump, basınç dayanımı bulon çekme ve yoğunluk gibi deneyler yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

2.9.1. Karot alma

Karot alımı, tahribatlı bir yöntemdir ve her koşulda yapıya zarar verir. Karot numunesi, elemana ve yapıya önemli hasar vermeden ve yapıyı riske atmadan mühendislik kaidelerine uygun bir şekilde alınmıştır. Yapının ve yapı gücünü etkilemeyecek yerler seçilmiştir. Karot alınması TS EN 12504-1'e göre gerçekleştirilmiştir. Karot çapı olarak 100 mm ve üzeri tercih edilmiştir.

2.9.2. Basınç dayanımı deneyi

Beton numuneleri, TS EN 12390-4'e uygun basınç deney makinasında (UTR-0550 otomatik basınç sistemi, yanal basınç için, 220-240 V 50-60 Hz) kırılıncaya kadar yüklenir. Deneyler DSİ Trabzon Bölge laboratuvarında gerçekleştirildi. Numunenin taşıyabildiği en büyük yük belirlenerek beton basınç dayanımı hesaplanır.

2.9.3. Bulon çekme deneyi

Yapılan çalışmada, kullanılan bulonların dayanması gereken belirli bir bulon taşıma yükü değeri vardır ve bu test sırasında kontrolü yapılmaktadır. Eğer çekme yapılırken bulon buna dayanmıyor ve dışarı geliyorsa, yani yeterli dayanımı gösteremiyorsa bu bulon işlevini gerçekleştirilemiyor anlamına gelir. Böyle olduğunda bulon çevresinden (kayaç ve enjeksiyon dayanımı gibi) ölçüm alınır ve sadece bulonda mı yoksa bulonun çevresindeki zeminde mi sorun olduğuna bakılır. Zeminin bu kısmında meydana gelen deformasyonlar sebebiyle böyle bir sorun olmuş ise, gerekli destek çalışmaları yapılır. Şekil 3'de bulon çekme deneyi ve bulon çekme cihazı verilmiştir.



Şekil 3. Bulon çekme ve cihazı

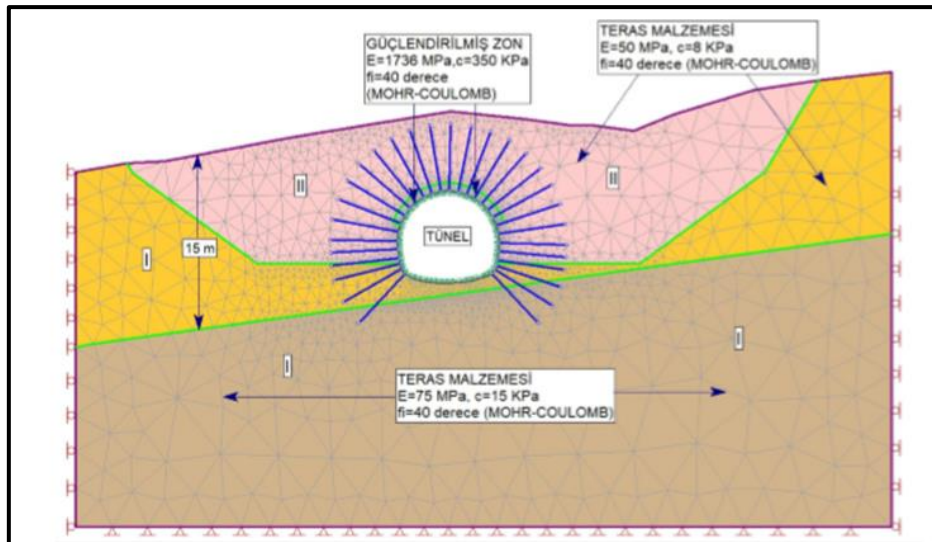
2.9.4. Beton yoğunluk deneyi

TS EN 12350-6 kapsamında, laboratuvar ve şantiyede, sıkıştırılmış taze betonun yoğunluğunun tayini amacıyla beton yoğunluk tayini deneyi yapılır. Taze beton, hacmi ve kütlesi bilinen, rijit ve sızdırmaz bir kap içerisine sıkıştırılarak yerleştirilir ve daha sonra tartılır. Beton numunesi TS EN 12350-1'e uygun olarak alınır. Deney uygulanmadan önce beton numune, tekrar karıştırma kabı içerisinde kare ağızlı kürek kullanılarak yeniden karıştırılır. Bu işlemler yapılırken öncelikli olarak kap hacmi belirlenir. Kap hacmi aşağıda tarif edilen şekilde belirlenmelidir. Tartma işleminde kap, içindekilerle birlikte tartılarak kütlesi belirlenir (m^2) ve belirlenen kütle kaydedilir. Beton yoğunluğu, belirlenen ağırlığın hacme bölünmesi ile belirlenmektedir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. T1 tüneli genel jeolojisi

Aşağıdaki şekilde T1 Tüneli Km:10+335 en kesiti esas alınarak bilgisayar programı ile oluşturulmuş giriş portal kesimi C3 kazı ve destek sistemi modeli ve bu modelde kullanılan kaya kütlesi elasto-plastik parametreleri ile kullanılan yenilme kriterleri sunulmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. T1 tüneli genel jeolojisi

Yukarıda verilen kesitte, tünel giriş noktasından (Km:10+327.00) 8m kadar ileride olup, örtü kalınlığı hemen hemen tünel kazı yüksekliği kadardır. Bu çerçevede, Giriş orta kesimlerinde biraz daha zayıf olduğu öngörülen teras malzeme için, Tünel boyunca en yüksek örtü kalınlığına

(H=50 m) sahip Km:10+490 en kesiti kullanılarak oluşturulan yukarıdaki modelde, kesitin Giriş Kesimine daha yakın olmasından dolayı daha düşük elasto-plastik parametreler kullanılmıştır. Bu bağlamda da yukarıdaki kesit; T1 tüneli güzergahı boyunca en kritik C3 kazı ve destek Sistemi kesitini oluşturmaktadır. Bu zonda, formasyonun kaya özelliğini kaybetmiş olmasından dolayı, kapalı kazı etrafında herhangi bir örselenme durumu beklenmemektedir. Modelden, teras malzemesinin 15m den sonraki kotlarında bloklu yapıdan dolayı biraz daha yüksek parametrelere sahip olduğu görülmektedir.

3.2. T1 tüneli destek ve malzeme parametreleri

T1 tüneline C3 sınıfına göre uygulanan destekleme elemanlarından olan bulon, püskürtme beton, iksa ve çelik hasır ile alakalı destekleme elemanları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. T1 tüneli destek elemanları

Destek Elemanları	C3
Bulon çapı	Ø32-IBO
Bulon aralığı	1.00x0.05-1.00
Bulon uzunluğu	8m
Püskürtme beton	C25-30(30cm)
Çelik hasır tipi	Ø589/378(çift kat)
Çelik iksa	I200 ve $\leq 1.00m$

T1 tüneline kullanılan yukarıda belirtilen destekleme elemanlarına ait malzeme parametrelerinden olan elastisite modülü, basınç dayanımı, poisson oranı, kesit alanı ve çekme dayanımı değerleri aşağıdaki verilen Tablo 3’ de belirtilmiştir.

Tablo 3. Malzeme özellikleri

Malzeme	Kaplama bet.	Püskürtme bet.	Bulon	Çelik hasır	Çelik iksa
Elastisite(MPa)	32.000	15.000-30.000	210.000	210.000	210.000
Basınç(MPa)	30	25	420	420	420
Poisson	0.2	0.2	-	-	-
Çekme(MPa)	-	-	8	33	5.9
Kesit alanı(cm ²)	3	2.5	0.25	-	-

3.3. Bulon enjeksiyon dayanım deneyleri

T1 tüneli giriş ve çıkış kısımlarında uygulanan bulon enjeksiyonlarının farklı zaman(gün) aralıklarında yapılan deney sonucunda ulaşılan mukavemet değerlerine yer verilmiştir. Bulon

enjeksiyonunda kullanılan çimento tipi olarak CEM1 42,5R tercih edilmiş, bulon enjeksiyon yoğunluğu $1,81 \text{ gr/cm}^3$ yapılan ölçümler sonucunda karışım suyu sıcaklığı $16,2^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığı $19,2^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda karayolları teknik şartnamesine göre 3 günlük mukavemet değeri $f_{\text{cm}} \geq 10,5 \text{ MPa}$, 7 günlük mukavemet değeri $f_{\text{cm}} \geq 21 \text{ MPa}$ değerlerinin üzerinde olduğu görülmüştür. 7 gün sonunda en yüksek dayanım değeri 44 MPa olarak bulunmuştur.

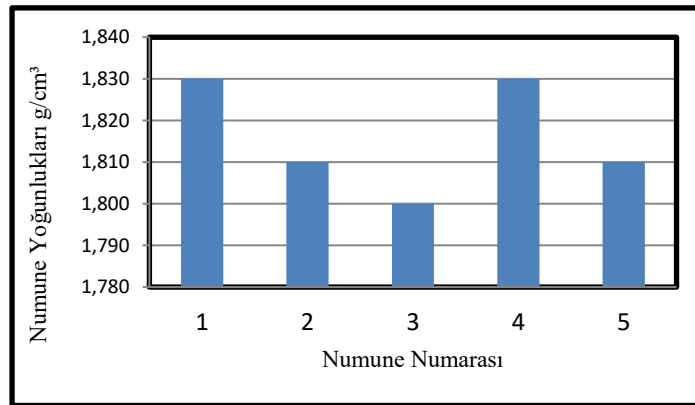
3.4. Püskürtme beton dayanım deneyleri

T1 tüneli giriş kısmında 100 mm karot numunelerinin farklı yaşlanma sürelerinde kırılmaları yapılmış kullanılan C25 betonu için elde edilen basınç dayanımı değerlerinin şartnamede belirtilen $25,5 \text{ N/mm}^2$ değerinin üzerinde olduğu sunucuna varılmıştır.

Kür süresi arttıkça dayanım değerlerinin orantılı olarak arttığı görülmüştür. T1 tüneli 1-3-7-28 günlük 100 mm - 100 mm boyutlarındaki karot numuneler alınıp kırım yapılmıştır. Şartnameye göre 1 günlük 9 N/mm^2 , 3 günlük 15 N/mm^2 , 7 günlük $17,5 \text{ N/mm}^2$, 28 günlük $25,5 \text{ N/mm}^2$, değerlerinin üzerinde basınç dayanımları elde edilmiştir. Püskürtme beton için en yüksek değer 28 gün sonunda 38 MPa olarak tespit edilmiştir.

3.5. Enjeksiyon yoğunluk deneyleri

T1 tüneline uygulanan enjeksiyonlardan farklı saatlerde alınan 5 farklı enjeksiyon numunesinin yoğunluk deneyi sonunda ulaşılan değerler Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. T1 tüneli enjeksiyon yoğunlukları

Deneylerden elde edilen sonuçlara göre, numunelerin yoğunlukları $1,785\text{-}1,830 \text{ g/cm}^3$ arasında bulunmuştur.

4.SONUÇLAR

T1 tüneline yapılan uygulamalara ait deney sonuçları aşağıda verilmektedir;

- T1 tüneli güzergahı boyunca en kritik C3 kazı ve destek Sistemi kesitini oluşturmaktadır. Bu zonda, formasyonun kaya özelliğini kaybetmiş olmasından dolayı, kapalı kazı etrafında herhangi bir örselenme durumu beklenmemektedir. Modelden, teras malzemesinin 15m'den sonraki kotlarında bloklu yapıdan dolayı biraz daha yüksek parametrelere sahip olduğu belirlenmiştir.
- T1 tüneline C3 sınıfına göre uygulanan destekleme elemanlarından olan bulon, püskürtme beton, iksa ve çelik hasır ile alakalı destekleme elemanları kullanılmıştır.
- Bulon enjeksiyonu mukavemet değerlerinin karayolları teknik şartnamesine göre 3 günlük mukavemet değeri $f_{cmin} \geq 10,5 \text{ MPa}$, 7 günlük mukavemet değeri $f_{cmin} \geq 21 \text{ MPa}$ değerlerinin üzerinde olduğu görülmüştür. 7 gün sonunda en yüksek dayanım değeri 44 MPa olarak bulunmuştur.
- Püskürtme betonu karot numunesinin basınç dayanımında C25 betonu için elde edilen basınç dayanımı değerlerinin şartnamede belirtilen 25,5 MPa değerinin üzerinde olduğu sunucuna varılmıştır. Püskürtme beton için en yüksek değer 28 gün sonunda 38 MPa olarak tespit edilmiştir. Bulon çekme testlerinde de herhangi bulonda sökülme rastlanmamıştır. Bulon testlerinde proje yüküne kadar çekme kuvveti uygulanmış ve saplamaların proje yüküne uygun hizmet verebildikleri belirlenmiştir. İnvart beton dayanım sonuçlarına göre, ortalama değerlerin şartnamede belirtilen 33-38 MPa değerlerinden yüksek olduğu sonucu elde edilmiştir.
- Enjeksiyon yoğunluk deney sonuçlarına göre, numunelerin yoğunlukları $1.785-1.830 \text{ gr/cm}^3$ arasında bulunmuştur.

Teşekkür

Bu çalışmaların desteklenmesinde bilgi ve belge konusunda yardımlarını esirgemeyen Karayolları 10. Bölge müdürlüğüne, bilimsel çalışmalarda destek olan Mühendis Umut Uçar'a ve Hatice Şahin'e teşekkür ederim.

Kaynaklar

Aygar, E.B., Gokceoglu, C., 2020. Problems Encountered during a Railway Tunnel Excavation in Squeezing and Swelling Materails and Possible Engineering Measures: A Case Study from Turkey.

Bozlar, M.İ., 2019. Ovit (İkizdere-Rize) Tüneli sağ tüpünün (Km: 64+173,00-64+373,00 Arası) mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmesi, RTEÜ YL tezi.

Cornejo, L., 1998. Insability at the face:its respercissions for tunnelling technology, Tunnels and Water, Serrana (ed.), 1988 Balkema, Rotterdam, ISBN 90 6191 821 9.

Emiroğlu, A., 2010. 4.Levent-hacıosman arası metro tünelindeki mühendislik uygulamaları çukurova üniversitesi fen bilimleri enstitüsü maden mühendisliği anabilim dalı yüksek lisans tezi,

Kahyaoğlu, H., 2015. Tag Otoyolu üzerinde tünel işleri ve yeni avusturya tünel açma yöntemi, <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11658>.

Kolymbas, D., 2005. Tunnelling and tunnel mechanics: a rational approach to tunnelling. Springer Science, Business Media

Komurlu, E., Kesimal, A., 2015. Sulfide-rich mine tailings usage for short-term support purposes: An experimental study on paste backfill barricades. Geomechanics and Engineering, 9, 195-205.

Lunardi, P., 2008. Design and constuction fo tunnels analysis of controlled deformation in rocks and soils (ADECO-RS), springer-verlang Berlin Heidelberg

Oke, J., Vlachopoulos, N., Marinos, V., 2014a. The pre-support nomenclature and support selection methodology for temporary support systems within weak rock masses. Journal of Geotechnical and Geological Engineering, 32(1), 97-130.

Oke, J., Vlachopoulos, N., Diederichs, M.S., 2014b. Semi-analytical model of an umbrella arch employed in hydrostatic tunnelling conditions. In: 48th US rock mechanics/ geomechanics symposium. Minneapolis: American Rock Mechanics Association.

Oreste, P., 2009. Face stabilisation of shallow tunnels using fibreglass dowels. Proceedings of ICE, Geotechnical Engineering, 162, 2, 95-109.

Oreste, P., 2011. The stability of the excavation face of shallow civil and mining tunnels. Acta Geotechnica Slovenica.

Zhao, Y., Zhu, Z., Liu, W., Zhan, J., Wu, D., 2023. Application of 3D laser scanning on NATM tunnel deformation measurement during construction. Acta Geotechnica, 18, 483–494.