

Makale Gönderim Tarihi: 08.02.2019

Yayına Kabul Tarihi: 21.05.2019

İzmir Buca – Onat Tünelinde Uygulanan Yeni Avusturya Yöntemi ve Deformasyon Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

New Austrian Tunneling Method in İzmir Buca-Onat Tunnel and Assessment of Deformation Measurements

M.Baki ÇOLAK^{1,*}, C.Okay AKSOY²

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Sorumlu yazar: baki_colak@hotmail.com

Özet

İzmir Buca Onat Tüneli, Onat Caddesi ile Şehirlerarası Otobüs Terminali ve çevre yolu arasında yapılmakta olan kazı destek çalışmaları 2017 yılında başlamıştır. Tünelin destek sınıfı için belirlenen her zonda o zonu temsil eden sondajlar göz önünde bulundurulmuştur. Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) ana ilkelerinde projelendirilmiştir. İzmir Buca Onat Tüneli Projesi, trafik problemlerinin ve binaların yoğun olduğu bir alandan geçmektedir. Kazı faaliyetleri sırasında ve sonrasında oluşan tünel içi deformasyonların ve yüzey hareketlerinin devamlı ölçülmesi ve değerlendirilmesi gerekli olmaktadır. Tünel kazı çalışmalarından dolayı oluşan yüzey oturması ve tünel cidarında oluşan deformasyonların belirlenebilmesi için püskürtme beton işleminden sonra tünel içindeki deformasyon plakaları yerleştirilmiş, oluşan deformasyonlar sonucunda okuma değerleri günlük ve tasman çalışmalarına paralel olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İzmir Buca - Onat tüneli, Jeolojik yapı, Tünel kazısı, NATM

Abstract

The excavation works of İzmir Buca Tunnel, which is located along the Onat Street has been started in 2017. The drillings, which represent the every single zone, have been considered in the regions which have been determined for the support of tunnel. The tunnel has been worked according to the fundamental principles of NATM. İzmir Buca Onat Tunnel Project has been located in a place that has a very complicated traffic jams and includes lots of buildings. The deformations in the tunnel and surface movements which occurred during and after excavation activities must be measured and evaluated continuously. In the tunnel, deformation plates have been established after the shotcreting process in order to determine the deformations inside the tunnel walls and the deformations on the surface caused by excavation Works. The reading values of deformations have been evaluated parallel with subsidence studies.

Keywords: : İzmir Buca - Onat Tunnel, Geological structure, Tunnel excavation, NATM

1. Giriş

Tüneller eksenin eğim açısı 30°'den daha küçük olan, iki ucu açık ve boyuna göre çapı çok küçük olan yeraltı yapılarıdır. Bu tarif maden mühendisliği açısından; kazılabilen ve tahkim edilen yeraltı kaya yapıları şeklinde revize edilmiştir. Bu tanımdan çıkarılan sonuca göre tünel inşasında en önemli unsur mevcut kayanın kazılabilme ve desteklenebilme özelliğidir. Başka bir anlatıma göre tünel; demiryolu, karayolu, yaya yolu, kanal vb. taşınma yollarının bir kısmının yeryüzünden geçirilmesinin teknik bakımdan olanaksız olduğu ya da ekonomik bakımdan uygun bulunmadığı yerlerde, bu kısmın yeraltından geçirilmesi için başvuru mühendislik yapılarıdır (Köse ve ark., 2007).

Tüneller, uygun ulaştırma yapıları vasıtası ile aralarında doğal zorluklar ve tehlikeler olan, iki yerleşim biriminin kesintisiz bir şekilde bağlantısını sağlayan önemli mühendislik yeraltı yapılarındandır. Böylece dağlık arazi, nehirler ve denizler gibi doğal engelleri, izin verilen güvenli ve elverişli ulaştırma sistemleriyle, iklim şartlarından da etkilenmeyecek şekilde aşılması tüneller ile sağlamaktadır. Yolcu ve yüklerin kesintisiz taşınabiliyor olması, bir toplumun gelişmesi ve sosyal olarak refaha ulaşabilmesi için gerekli bir durumdur. Tünellerin faaliyet alanları, güvenilirlik ve verimlilik içerisinde, kesintisiz ve uygun koşullarda ulaştırma sağlamaktır. Tüm büyük şehirlerde olduğu gibi İzmir de bu çağdaş değişime ayak uydurmaktadır. Ulaşım Dairesi Başkanlığının Buca-Onat Caddesi Şehirlerarası Otobüs Terminali ve Çevre Yolu Arası Bağlantı Yolu Tünel geçişini kapsayan projesi hayata geçmiştir. Projenin kontrol kısmı Fen İşleri Dairesi Başkanlığı – Yol Üst Yapı Şube Müdürlüğünde olup projenin yüklenici firması HGG İnşaat Anonim Şirketi olmuştur. Proje 2017 yılında başlamış olup 2019 yılında tamamlanması planlanmaktadır. Güzergah İzmir'in Buca ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Projelendirilen tünel Onat Caddesi ile Çevre Yolu arasında km:0+887 – km:3+395 (sol tüp), km:0+887 – km:3+430 (sağ tüp) kalmakta olan şehir içi tüneldir.



Şekil 1. Google Earth üzerinde tünel güzergahının görüntüsü

2. Güzergah Jeolojisi

Tünel güzergahının ve bölgenin jeolojisi incelendiğinde kireçtaşları, kumtaşı, kiltası ve çakıltaşı ardalması görülmektedir. Bölgede; kiltası-kumtaşı-kiltası birimlerinin üzerine üst miyosen yaşlı Kireçtaşı birimi gelir. Neojen tortul birimlerinin üst seviyelerini teşkil eden kireçtaşları grimsi beyaz, pembemsi bej renklerde gözlenir. Kireçtaşı birimi; killi kireçtaşı-marn ve kiltası ara seviyeleri içeren görsel kireçtaşlarından yapılıdır. İstifin ana litolojisini oluşturan kireçtaşları gastropod ve saz fosilli, katmanlı, bol çatlaklı, yersel birleşik yapılı ve yer yer silifiye olmuş kireçtaşı şeklindedir.

Ayrıca süreksizlik zonlarına bağlı olarak erime boşlukları gelişmiştir. Birim düşük kotlarda kıltaşı-marn seviyeleri ile ardalanma gösterirken, üst kotlarda sadece kireçtaşları gözlenir. Bu durum birimin, sığ görsel ortamda çökeldiğini göstermektedir. Kireçtaşı çökeli mi göl ortamında devam ederken, aynı zamanda ortama farklı zamanlarda silis gelişimi olmuştur. Arazide kayacın düşey profilleri incelendiğinde bantlı bir yapının varlığı dikkat çekmektedir. Bu bantların oluşumu sırasında silis getirmesi bazen çok miktarda, bazen de yok denecek kadar az olduğu gözlenmiştir. Su ile reaksiyon sonucu kalsiyum karbonat bileşimli kesimler eriyerek oyukları, buna karşılık silisli kısımlar stabil kalıp, pürüzlü ve çıkıntılı kısımları oluşturmuştur. Hakim rengi sarımsı bej, krem olup gevşek dokulu, sık çatlaklı, çatlakları kırmızı kil dolgulu, breşik ara düzeyli oldukça ayrılmıştır.

Çıkış portal civarında mostra veren birim ayrılmış olup genelde tabakalanma yüzeyleri belirsizdir. Kahverenkli, yeşilimsi kahverenklerde olup sert zemin, yumuşak kayac niteliğindedir. Çakıltaşı biriminin orta-üst seviyelerinde birbirine girik olarak yer alan, marn (ayrışmış), az çakıllı silttaşı – kıltaşı (ayrışmış), çakıllı kumtaşı, çakıltaşı (orta derecede ayrılmış) mercek ve bantları inceleme alanın ortalarında hakim jeolojik ortamı belirler. Çakıllı kumtaşı; grimsi, sarımsı, beyazımsı renkli, ince taneli düzgün ince katmanlı, az dayanımlı, silttaşı; grimsi yeşil renkli, düzgün katmanlanmalıdır. Az çakıllı kıltaşı grimsi, siyahımsı yeşil ince tabakalı az dayanımlıdır. Çakıltaşı birimi tabanda oldukça sert, iyi pekişmiş, orta-kalın tabakalı, gri ve onun değişik tonlarında bir renk sunar. Çakıltaşları çalışma alanında yüzey vermemektedir. Çakıltaşı birimi tabanda tek düzey iken orta-üst seviyelere birbirine girik marn, az çakıllı silttaşı – kıltaşı, çakıllı kumtaşı mercek ve bantları içermektedir.

3. Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi İle Tünel Kazısı ve Deformasyon Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Tünelcilikte, yeni bir anlayışın ortaya çıkmasına yol açan Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) tünelin içinde açıldığı kaya ortamına kendi kendini taşıma ilkesine dayanır. Yöntemin prensibi, en uygun kazı ve sağlamlaştırma yöntemleri kullanılarak kazı sonrasında oluşacak ikincil gerilme deformasyonlarının, kaya yapısının stabilitesini bozmayacak şekilde denetlenmesi, yönlendirilmesi ve kayaçların ilk sağlamlığını olabildiğince koruyarak boşluğu çevreleyen bölgenin kendi kendini tutan ve taşıyan bir statik sistem oluşturulmasıdır. Yöntemde kayacın yük taşıma kapasitesi kullanılır hale getirilerek kayac yük oluşturulan ortamdan yük taşıyıcı ortama dönüştürülür (Kömürlü ve Kesimal, 2013).

Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM), temel olarak çok sağlam kaya ortamdan çok yumuşak kaya ortamlarda kazı destek sistemleriyle, kazının püskürtme beton ve çelik hasırlı püskürtme beton ile korunması, çelik iksa ve bulonlarla plastik kemerleşmeyi sağlamasına yardımcı olunarak, ölçümlerle esnek revize edilebilir bir tünel açma ve destekleme metodudur. Bu yöntem tünelciliğe yeni bir bakış açısı getirmiştir. Bu sebeple eski yöntemlerle karşılaştırıldığında genel ilkeleri bakımından pek benzerlik göstermez. NATM'nin Leopold Müller tarafından geliştirilen 22 prensibi olup, esas ana kayanın ilk sağlamlığını koruyarak yapılacak tahkimatla beraber kayac bölgesinin de taşıyıcı olmasını sağlamaktır. Bu sebeple tahkimat işlemleri en kısa zamanda tamamlanmalıdır. Kazı kesitleri ne kadar yuvarlak seçilirse yöntem o kadar iyi çalışmaktadır. Günümüzde ülkemizde yapılan birçok tünelde NATM metodu kullanılmaktadır.

3.1 Tünelde Kazı İşlemi

Tünelin kazı işlemi giriş portalı ile 2017 yılının Nisan ayında başlanmıştır (Km:889.75). Tünel açımında ilk olarak üst yarı kazısı yapılır ve sonrasında alt yarı kazısına geçilerek 2 aşamada kazı işlemi gerçekleştirilmiş olur. Tünel içerisinde, aynada kazı yapmak için öncelikle aynada ne kadar ilerleme yapılacağı belirlenir ve yapılacak olan ilerleme miktarına bağlı olarak kayacın kendini tutabilmesi için robbit borusu çakılır. Destek için robbit borusu yerleştirmeden önce; aynada ilk kazıya giriliyorsa üst yarı aynası topograf tarafından çizilir. Çizilen kazı alanı ekskavatör (darbeli kırıcı) ile kazılır (Şekil 2). Kazılan malzeme loader ile taşınır. Püskürtme beton atımı yapabilmek için belli bir malzeme platform yapılarak bırakılır. Platform alındıktan sonra ekskavatör ile iksa ayaklarının geleceği bölgeyi açarak, iksa montajı topoğraf eşliğinde yapılır. Kazı işlemine ilk olarak girildiğinde sıfır noktasına ve ilerleme mesafesine iksa montajı yapılır. İlerleme mesafesi 50 cm'dir. İki iksa arasını işban demiri kaynatılarak sabitleme işlemi sağlanır. Sabitleme işlemi yapıldıktan sonra püskürtme beton atılma işlemine geçilir.



Şekil 2. Tünelde hidrolik kırıcı ile kazı işlemi

Tünel kazılarının vazgeçilmez destekleme elemanı olan püskürtme beton projede aynı malzemelerin farklı miktarlarda karıştırılmasıyla kullanılmaktadır. Püskürtme betonda kullanılan ekipmanla ilgili olarak kuru veya yaş olarak atılabilir. Püskürtme beton atıldıktan sonra platform için bırakılan pas işleme loeder ile alınır. Ekskavatör ile önceki iksanın ayak bölgesi açılır. Bu sayede kazının sınırlarını operatör önceki iksayı baz alarak rahatlıkla yapabilir. Kazıya ayak bölgesinden başlanır. Sağ ve sol ayak bölgelerini açtıktan sonra omuz bölgelerine doğru ardından da eksene doğru gelerek kazı tamamlanır. Kazı işlemi en fazla uygulanan destekleme mesafesinin yarı mesafesine kadar yapılabilir. Robbit boyu 6 m dir. Yeni robbit borusu yerleştirmek için 4 - 5 metre kazı yapılması gerekir (Şekil 3). Süren borusunu boyu 4 metre olup yeniden süren çakılması için 2-2.5 metre kazı yapılması gerekir. İlerleme çok fazla olmadan geri dönülerek enjeksiyonlu kaya bulonları yapılır. Bu işlemler yapıldıktan sonra alt yarı kazısının yapılmasında bir engel kalmamış olur. Alt yarı kazısı yapılacak bölge kullanımda değilse, önünde çalışma yoksa veya önde yapılan çalışma bitene kadar belli bir mesafe alt yarı kazısı ve tahkimatı yapılabilir. Alt yarı kazısı topograf tarafından

yaptırılan şablon ile yapılır. Şablon üst yarıda sabit aralıklarla ve bulunduğu yere göre uygun kottaki noktalara konulur ve şablon baz alınarak kazı yaptırılır. Tahkimat tipine göre alt yarı tahkimatı yapılır. Üst ve alt yarısı bitmiş olan tünele belirli aralıklarla eksen ve omuz bölgelerine püskürtme beton işleminin dışına çıkacak kadar 30 cm delikler delinir. Bu deliklerden enjeksiyon verilerek püskürtme beton arkasında kalan boşlukların dolması ve üst bölgelerde bulunan suyun aşağılara alınması sağlanır (Şekil 4).



Şekil 3. Jumbo ile robbit delgisi

Bütün bunlar yapıldıktan sonra enjeksiyonun bittiği yerler su ve hava tutularak temizlenir. Çelik hasır, soğuk çekme yöntemi ile çekilip nervürlenme işlemi yapıp imal edilen, yüksek dayanma gücüne sahip ve genellikle inşaatlarda kullanılan beton çeliğidir. Çelik hasırların minimum çekme mukavemeti 340 N/mm^2 'dir. Tünel içinde püskürtme beton işlemindeki betonun statik özelliklerini artırmak için çelik hasırın bağlanmasına geçilir. C2 ve B3 tahkimat sistemlerinde kullanılan tahkimat elemanları aşağıda Çizelge 1'de verilmektedir.



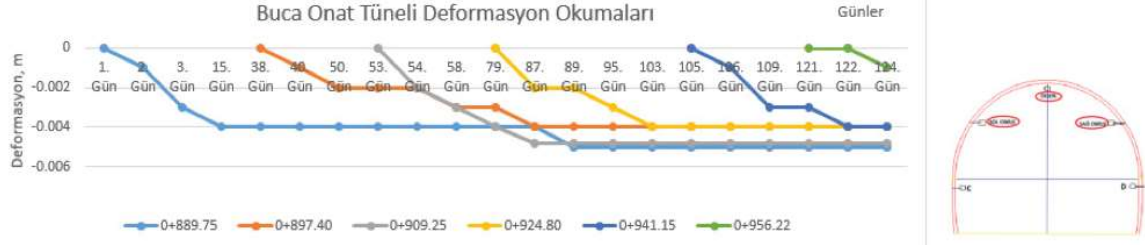
Şekil 4. İksa ve çelik hasır arasına püskürtme beton atılması

Çizelge 1. Uygulanan tahkimat elemanları

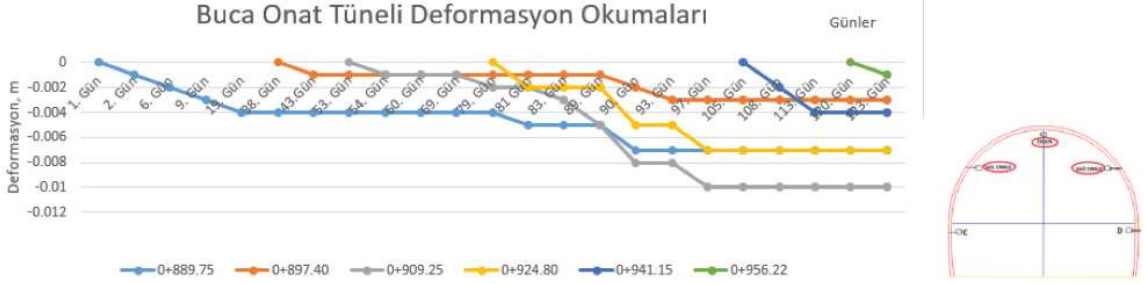
Tahkimat Elemanları	Özellik	C2 Klas	B3 Klas
Ön Süren (Gerektiğinde)	Çap	Φ2" enjeksiyonlu borular	Φ1 1/2" enjeksiyonlu borular
	Boy (m)	6	6
	Aralık	30 cm	C/C 20-30 cm Üst yarı Alın Bölgesinde
	Bindirme	6 m/Min 2 atım boyu	6 m/Min 1 atım boyu
	Boyu	bindirmeli	bindirmeli
	Tip	PG	PG
Kaya Bulonu	Çap (mm)	32	28
	Boy (m)	6	4
	Round		
	BoyuxBulon Aralığı (m)	1.00x1.00	1.25x1.50
Çelik İksa	Tip	I-200	I-160
Püskürtme Beton	Kalınlık	30	25
	Tipi	C25	C25
	Adet	Üst Yarı/Alt Yarı/İnvert	Üst Yarı/Alt Yarı/İnvert
Çelik Hasır		x 2 kat	x 2 kat
	Tip	Q221/221	Q 221/221

3.2 Tünel İçindeki Deformasyon Ölçümleri

İzmir Buca Onat Tüneli Projesi, trafik problemlerinin ve binaların yoğun olduğu bir alandan geçmektedir. İnşa edilen sistemde başarı, projenin zamanında, en düşük maliyetle, tünele ve çevre yapılarına en az zarar verilerek bitirilmesi ile ölçülmektedir. Bunun gerçekleşmesi için başarılı bir kazı çalışmasının yanı sıra iyi bir ölçüm sistemi ve kontrolü gerekmektedir. Tünelde yapılan yerinde ölçümlerin amacı, üç boyutta gerilme dağılımını kontrol altına almak ve kazı sırasında ve kazı sonrasında oluşan gevşeme ve deformasyonun minimize edilmesi için, kayaç ve zemin dayanımının korunması gerekir. Bu koşullar için kazıdan hemen sonra erken taşıyıcılık sağlayabilecek Püskürtme Beton, Çelik Hasır, Çelik Kafes İksa, Kaya Bulonu ve çevre ortamı ile birlikte çalışacak taşıyıcı iksa sistemi oluşturmak, kazı faaliyetleri sırasında ve sonrasında oluşan tünel içi deformasyonların ve yüzey hareketlerinin devamlı ölçülmesi ve değerlendirilmesi gerekli olmaktadır. Tünel cidarında oluşan deformasyonların belirlenebilmesi için püskürtme beton işleminden sonra deformasyon bulonları tesis edilmiş ve oluşan deformasyonlar sonucunda okuma değerleri günlük olarak tasman çalışmalarına paralel olarak değerlendirilmiştir. Tünel içindeki ölçümler ekstansometre ile yapılmıştır. Ölçümler sol üst yarı, eksen, sağ üst yarı, sol alt yarı ve sağ alt olmak üzere 5 noktada yapılmıştır. Ölçümler 12 metre aralıklı sıklıkla yapılmaktadır. Ölçümler sonucunda (Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7) 15 gün aralıklar baz alındığında deformasyon 2-4 mm arasındadır. Kazının başladığı aynadaki ölçümü baz alırsak maksimum deformasyon miktarının 10 mm'yi geçmediği görülmüştür. Bu ölçümler sonucunda tünel içinde deformasyonların düşük olduğu görülmektedir. Şekil 5 ve Şekil 7'deki üst yarı kazılarındaki okumalara bakıldığında 87. ve 89. günler arasında zıplama görülmektedir. Bunun sebebi alt yarı kazısının başladığı zamana denk gelmesidir. Ayrıyeten bölgede kaçak gelen sular bulunmakta, Nisan-Mayıs aylarındaki yağışlar etkili olmaktadır. Genel anlamda baktığımızda deformasyon miktarının kazının başladıktan 4 aylık zamanı incelediğimizde deformasyon miktarın düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Tünel içinde sol omuzdaki deformasyon ölçümleri



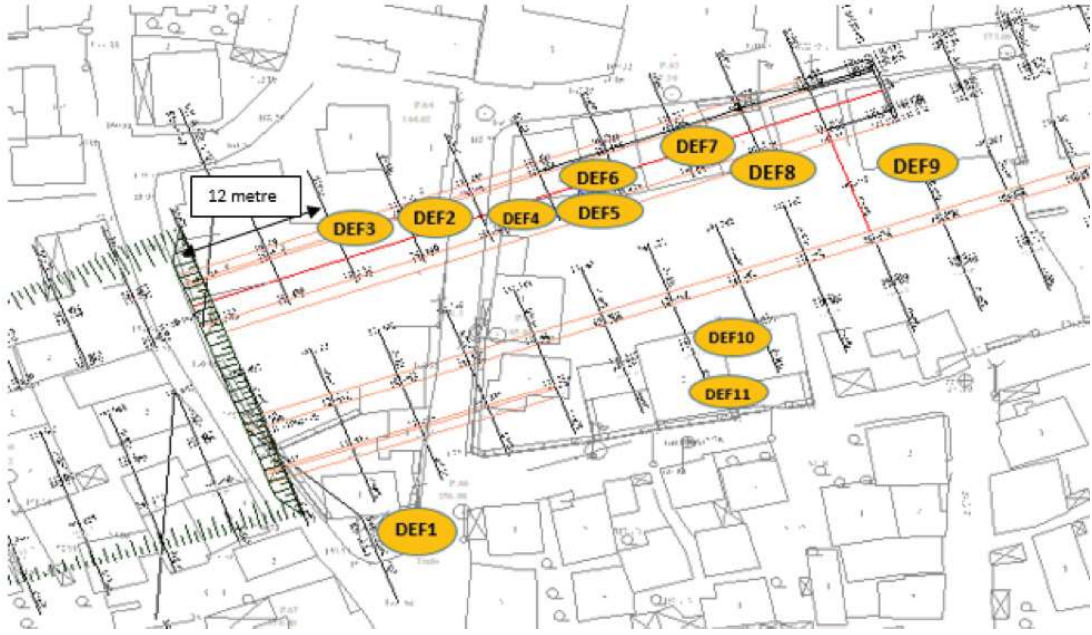
Şekil 6. Tünel içinde eksen deformasyon ölçümleri



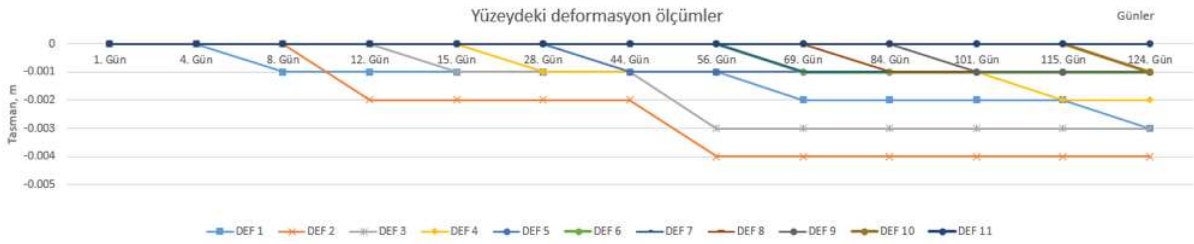
Şekil 7. Tünel içinde sağ omuzdaki deformasyon ölçümleri

3.3 Yüzeydeki Deformasyon Ölçümleri

Tüneldeki kazı çalışmalarından dolayı oluşan yüzeydeki oturmaların belirlenmesi için toplam 11 ölçme noktasında ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerle ilgili tasman grafiği Şekil 9’de görülmektedir. Deformasyon noktalarının tünel giriş tarafındaki kesitte görünüşü Şekil 8’de verilmiştir. Şekil 9’a baktığımızda en fazla zıplama Deformasyon 2-3’te olarak görünüyor. Burada deformasyon 2’ye kadar olan bölümde kazının yapıldığı aylarda bölgede yağışlar etkili olmuştur. Deformasyon değerlerinin cüzi sayılacak kadar oldukça düşük olduğu görülüyor.



Şekil 8. Yüzeysel oturmasındaki deformasyon noktaları



Şekil 9. Yüzeysel oturmasındaki deformasyon okumaları

4. Sonuç

Buca Onat Tünelinin güzergahında jeolojik yapısı incelendiğinde kireçtaşları, kumtaşı, kiltası ve çakıltası aralanması görülmektedir. Tünelin kazı sistemi olarak Yeni Avusturya Yöntemi (NATM) seçilmiştir. İzmir Buca Onat Tüneli Projesi, trafik problemlerinin ve binaların yoğun olduğu bir alandan geçtiği için İnşa edilen sistemde, tünele ve çevre yapılara en az zarar verilecek bitirilmesi için ölçümler yapılmaktadır. Tünel açılmasından sonra kazı sırasında 12 metre aralıklı sıklıkta deformasyon ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlere baktığımızda grafik belli bir deformasyona geldikten sonra sabit kalmaya başlamıştır. Okuma değerlerine bakıldığında 10 mm'yi geçmediği görülmektedir. Kaya kütlesi olarak zayıf-orta sağlamlıkta kireçtaşı olmasına rağmen, güzergahta çok fazla sayıda eski yapı olması ve tünelin sığ tünel olması nedeniyle çelik boru kemer uygulaması yapılmıştır. Bu uygulama sayesinde yüzeysel oturmasındaki deformasyonlar yapılara hasar verecek düzeye ulaşmamıştır. Bu uygulamanın olmaması durumunda, kireçtaşı içindeki kalın süreksizliklerin kapanması, tünel içi ve yüzeysel oturmasındaki deplasmanların artış göstermesi söz konusu olacaktır. Bu durumda da yüzeysel oturmasındaki yapılarda hasar riski oldukça yüksek olacaktır. Bu nedenle, çelik boru kemer uygulaması zorunlu olmuştur.

5. Teşekkür

Bu projenin hazırlanmasında, çalışmalarım süresince yardım ve desteklerini esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren değerli hocam Sayın, Prof. Dr. C. Okay AKSOY'a, Lisans

çalışmam boyunca gerek bilgi birikimlerini ve deneyimleri ile gerekse çalışmanın özünü oluşturan İzmir Buca Onat Tüneli projesinde TÜMAŞ çalışanları Maden Müh. Eşref KURTOĞLU ve Yüksek Jeoloji Mühendisi Yolaç YILDIZ'a, mesleki konulara bakış açımı sağlayan Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği hocalarımıza teşekkür ederim.

6.Kaynaklar

İzmir Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı, 2018. Buca Onat Caddesi Jeoteknik değerlendirme raporu, İzmir Büyük Şehir Belediyesi

Kömürlü E., Kesimal A., 2013. Geçmişten Günümüze Tünelcilik ve Tahkimat Malzemeleri, Madencilik, 52, 33-47.

Köse, H., Gürgen, S., Onargan, T., Yenice, H., Aksoy, C. O., 2007. Tünel ve Kuyu Açma. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları No:145.

Ulusay, R., Sönmez H., 2007. Kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri: Güncellenmiş – genişletilmiş 2. Baskı, TMMOB Jeoloji mühendisleri odası yayınları, No:60