

## Metro Tünellerinde Birinci ve İkinci (Nihai) Kaplamanın Fiber Takviyeli Püskürtme Beton ile Yapılmasının Projeye Mali ve Süresel Etkisi

Mücahit NAMLI<sup>1</sup>, İdris ARAZ<sup>2</sup>

### ÖZET

Metro projeleri ulaşım sorununu rahatlatmak amacıyla yapılan büyük bütçeli toplu taşıma projeleri olup hedeflenen sürede işletmeye alınabilmesi için yapım sürelerinin kısaltılmasına yönelik araştırma çalışmaları büyük önem arz etmektedir. Metro projelerinin daha kısa sürede yapılabilmesi için metro tünellerinin tünel delme makineleri (TBM) ile yapımı yaygınlaşmıştır. Ancak, metro ana hat tünellerinin tünel delme makineleri ile yapılması her ne kadar tünel yapımını hızlandırmış olsa da metro projesinde ana hat tünellerinden farklı kesitteki istasyon peron tünelleri TBM ile yapılmadığından istasyon tünellerin yapımının hızlandırılması için alternatif yapım tekniklerine halen ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla yapımı 2018 yılında tamamlanmış Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metro projesinden elde edilmiş tecrübe ve kayıtlar irdelenerek metro yapım süresinin kısaltılmasına yönelik alternatif bir kaplama yöntemi araştırılmıştır.

Sahada yapılan araştırma, gözlem ve ölçümler neticesinde fiber takviyeli püskürtme beton uygulamasında çelik hasır montaj süresi ortadan kalktığından çift sıralı çelik hasır çelik donatı ile desteklenen tünellerde fiber takviyeli püskürtme beton uygulamasının tünelin birinci kaplamasını teşkil eden kazı destek sistemi imalatında %40 lık bir zaman kazanımı sağlayacağı görülmüştür. Çakmak Metro İstasyonunun tünel birinci kaplamaları 23 ayda, tünel ikinci kaplamaları 16 ay olmak üzere toplam 39 ayda tamamlanmıştır. Saha tespitlerine dayalı olarak yapılan mukayeseler sonucu, Çakmak istasyonunda tüm tünel birinci ve ikinci kaplamalarında fiber takviyeli püskürtme beton kullanılması durumunda tünel birinci kaplamaların 13,8 ayda, ikinci kaplamalarının 6 ay olmak üzere toplam 19,8 ayda tamamlanabileceği, Çakmak istasyonu tünellerinin klasik kazı destek ve kalıplı beton dökülmesi durumuna göre %47 daha kısa sürede ve %16,6 daha düşük maliyetle tamamlanabileceği tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Fiber Donatılı Püskürtme Beton, Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM), Püskürtme Beton, Metro

### ABSTRACT

Metro (subway) is an advanced public transport infrastructure system in urban areas with high capacity, which require huge amounts of budgets to be built. Putting these projects into service in targeted time is of great importance. The objective of this study is to minimize total metro construction project time by utilizing fiber reinforcement in tunnel linings. In this research, using fiber reinforcement to construct primary (initial)

<sup>1</sup> Doçent Doktor, İnşaat Yüksek Mühendisi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İstanbul Medeniyet Üniversitesi, [mucahit.namli@medeniyet.edu.tr](mailto:mucahit.namli@medeniyet.edu.tr) (sorumlu yazar )

<sup>2</sup> İnşaat Yüksek Mühendisi, Dudullu-Bostancı Metro Projesi, Arcadis&Tümaş Ortaklığı, [idris.araz@outlook.com](mailto:idris.araz@outlook.com)

tunnel linings and secondary (final) tunnel linings of the metro projects are analyzed in terms of project duration. For this purpose, an alternative lining method has been researched to shorten the metro construction period by examining the experience and records obtained from the Üsküdar- Ümraniye-Çekmeköy Metro project, which was built in 2018.

As a result of the research, observations and measurements made in the field, it has been seen that the application of fiber reinforced shotcrete in tunnels supported by double-row steel mesh steel reinforcement will provide a 40% time saving in the production of the excavation support system, which is the first lining of the tunnel. The actual first lining of the tunnel of the Çakmak Metro Station was completed in 23 months, and the second lining of the tunnel was completed in a total of 39 months, including 16 months. If fiber reinforced shotcrete was used in all tunnel first and second coatings at Çakmak station, the first tunnel lining could be completed in 13.8 months and the second coating in 6 months, a total of 19,8 months, It has been determined that the Çakmak station tunnels could be completed in 47% less time with 16,6 % lower cost.

**Key words:** Fiber reinforced shotcrete, shotcrete, Metro Project, Metro station, tunnel lining

## 1 GİRİŞ

Metro Projelerindeki yapım işleri inşaat işleri ve elektromekanik işler olmak üzere iki ana kısma ayrılmaktadır. İnşaat işleri tamamlandıktan sonra elektromekanik işlerin imalatına başlanabildiğinden inşaat işlerinin yapım süresi projenin tamamının bitirilerek işletmeye alınabilmesi için elzemdir. Metro projelerinin planlanan sürelerde tamamlanabilmesi için inşaat işlerinin yapımının önceden doğru şekilde planlanması büyük önem arz etmektedir.

İnşaat işleri ise tünel imalatları ve istasyon imalatları olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Bir metro projesi, istasyon işlerinin geç kalmasından veya tünel işlerinin uzun sürmesinden dolayı planlanan sürelerde işletmeye alınamaya bilmektedir.

Günümüzde tünel imalatları, tünel delme makinelerinin kullanımının artmasıyla daha kısa sürelerde yapılabilmektedir. Zira klasik tünel açma yöntemleriyle günde ortalama 1 metre tünel imalatı yapılabılırken, tünel delme makineleriyle ortalama 10 metre tünel imalatı yapılabilmektedir. Tünel delme makinelerinin kazı performansının tahmini ile ilgili birçok akademik çalışma yapılmış olup bu çalışmalar sonucunda İstanbul'daki jeolojik formasyonlar için bir kazı ilerleme tahmin modeli de geliştirilmiştir (Namli M. vd. 2013, 2014). (Bilgin N.vd., 2016). Bu model sayesinde karşılaşılabilecek jeolojik formasyonun tipine göre tünel delme makinesiyle yapılacak tünellerin ne kadar sürede yapılabileceği önceden tahmin edilebilmektedir. (Namli M., Bilgin N. 2017)

Metro istasyonu yapım işlerinin süreleri ise istasyonun konumuna, zemin şartlarına, bulunduğu mevkideki altyapı yoğunluğuna ve kamulaştırma işlemi gerekliliğine göre oldukça değişkenlik arz etmektedir. Metro istasyon inşaatları temel olarak tamamen aç kapa, kısmen aç- kapa kısmen tünel veya tamamen tünel şeklinde yapılabilmektedir. Aç kapa yapılması durumunda ilk inşaat yapım maliyetleri, tünel şeklinde istasyon yapımına göre daha az gözükse de yüzeye yakın altyapı hatlarının deplasmanı, metro istasyonu ile çıkan yüzeydeki parsellerinin kamulaştırılması gibi indirekt maliyetler ortaya çıkmakta ve istasyonun yapım süresi inşai unsurlar dışında pek de kontrol edilemeyen bürokratik işlem sürelerinin esaretinde kalmaktadır. Zira en ufak bir parselin kamulaştırılması bile bir yıldan az sürmemekte, kamulaştırma işlemi tamamlanmadan da aç kapa istasyon inşaat imalatlarına başlanamamaktadır. Dünyadaki raylı sistem metro projeleri incelendiğinde raylı sistem projelerinin yapımının kamulaştırma süreleri hariç, asgari 5 yıl sürdüğü rapor edilmiştir. (Dünya Bankası Raporu,2002).

İstanbul da yapılan metro projelerinin bazılarında, aç-kapa yapılan istasyonların havalandırma fan odaları benzeri teknik hacimlerinin planlanan sürede tamamlanamadığı için, metro ana hat tünel imalatları bir yıl evvelden tamamlanmasına rağmen, aç kapa yöntemiyle yapılan tünel havalandırma fan odalarını, altyapı deplasmanı ve kamulaştırma benzeri işler sebebiyle geç tamamlandığından teknik hacimlerdeki elektromekanik işlerin imalatına başlanamamıştır. Bu durum metro projesinin işletmeye alınmasının bir yıl daha geç gerçekleşmesine sebep olmuştur. Diğer yandan bazı metro projelerinde de metro tünel imalatlarını geç tamamlanması sebebiyle istasyon inşaatlarının tamamlanmış olmasına rağmen metro hattının tamamı bir seferde işletmeye alınamayarak, kısmi olarak işletmeye alınma durumu söz konusu olmuştur. Bu bağlamda metro istasyonlarının ve metro hattı tünellerinin yapım tekniğinin projenin başında çok iyi bir şekilde planlanmasının önemi ortaya çıkmaktadır.

Metro projeleri, üstyapı inşaatı projeleri gibi bütün detayların önceden belirli olduğu uygulama projesine dayalı anahtar teslim götürü bedel işler olarak ihale edilemeyen, çalışılacak zemin ve ortamın tam olarak belirli olamaması gibi sebeplerden götürü kesin projeye dayalı olarak ihale edilen altyapı projelerindedir. İstanbul

'daki metro işlerinin ihaleleri birim teklif alma usulüyle yapılmaktadır. Bu sebeple inşaat işlerinin iş kalemlerinin bedelleri yüklenicinin teklifine ve imkânlarına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin elinde tünel makinesi bulunan bir yüklenici tünel makinesiyle yapılacak tünel imalatları için klasik tünel açma yöntemindeki tünel fiyatlarına göre daha düşük bir fiyat teklifi verebilmektedir. Bu sebeple ihale sonrası en uygun teklifi veren yüklenici ile sözleşme imzalandıktan sonra yapılacak tünel işleri vb. imalatların daha kısa sürede ve daha uygun fiyata tünel makinesiyle yapılıp yapılamayacağı mutlaka irdelenmelidir. Zira, metro projelerin başlangıcında alınacak kararlar gerek işin süresi ve gerekse de maliyeti üzerinde çok büyük etkiler yapmaktadır.

Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy (ÜÜÇ) Metro Hattı, Üsküdar-Çekmeköy istasyonları arasında yer alan yaklaşık 17 km uzunluğundaki ana hat tünelleri çift tüp delme tünel ve aç-kapa tipinde toplam 16 adet istasyonu, yaklaşık 2,8 km'lik depo sahası bağlantı tüneli, depo sahası ve bakım alanı ve binaları bulunan bir raylı toplu taşıma sistemidir. Ana hat, Üsküdar Meydanındaki Üsküdar İstasyonu'ndan başlayarak 17 km'lik güzergâh tünel makinesi (TBM/EPB) ve yeni avusturya tünel açma metodu (NATM) ile yapılan tüneller ile Çekmeköy İstasyonu'na ulaşmaktadır. Ana hat, Üsküdar Meydanındaki Üsküdar İstasyonu'ndan başlayarak 17 km'lik güzergâh tünel makinesi (TBM/EPB) ve konvansiyonel (NATM) yapım tekniğiyle yapılan tüneller ile Çekmeköy İstasyonu'na ulaşmaktadır. Buna ilave olarak ana hattan Dudullu mevkiinde sapılarak, 2,8 km'lik tünel bağlantı hattı ile Depo Sahasına ulaşılmaktadır (Şekil 1). İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından ihale edilmiş olan metro hattının inşaat ve elektromekanik işlerine ait toplam bütçesi metro araçları hariç 563.899.995,32 € dir. Hattın tünellerinin 26.626 metresi TBM ile 10.940 metresi ise NATM ile yapılmıştır.



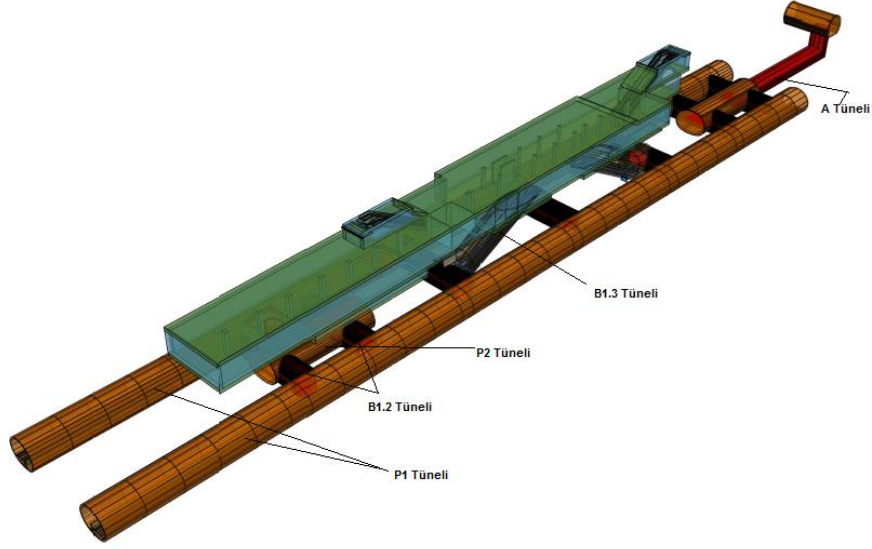
Şekil 1. Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy (ÜÜÇ) Metro Hattı Projesi Güzergâhı

## 2 ÜSKÜDAR ÜMRANIYE ÇEKMEKÖY METRO PROJESİNDE NİHAİ TÜNEL KAPLAMASININ YAPIM YÖNTEMİNİN DEĞİŞTİRİLMESİNİN PROJEYE ETKİSİ

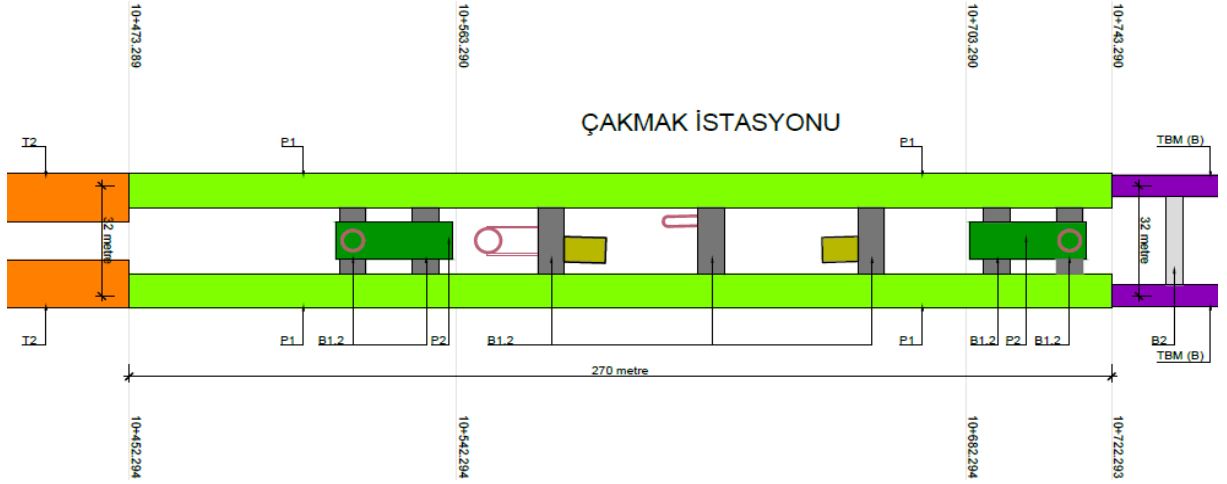
Bu proje kapsamında öngörülmüş olan istasyonlardan arazinin müsait olduğu istasyonlar tamamen aç kapa yöntemiyle yapılırken, arazinin müsait olmadığı istasyonlar ise kısmen aç kapa kısmen tünel delme yöntemiyle yapılmıştır.

Kısmen aç kapa ve kısmen tünel olarak inşa edilmiş olan Çakmak İstasyonuna ait üç boyutlu Şekil 2 de P1 tipi tünel, yolcuların treni beklediği peron tüneli, P2 tipi tünel havalandırma bağlantı tüneli, B3.1 tipi tünel merdiven tüneli, B1.2 tipi tünel bağlantı tüneli A tipi tünel de havalandırma tünelidir.

Çakmak istasyonuna ait P1, P2, B1.2, B3.1 ve A tipi tüneller Şekil 3'teki planda verilmiştir. Çakmak İstasyonu tüm metro hattının ortasında yer almakta olup hattın işletmeye kısmen açılması durumu söz konusu olunca da terminal istasyon olarak kullanılmış olması sebebiyle kritik bir öneme haiz olmuştur. ÜÜÇ metro projesinin işletmeye alınmasında kritik bir öneme haiz olan Çakmak istasyonundaki NATM yöntemi ile yapılan tüneller peron tünelleri, havalandırma tünelleri, merdiven tünelleri ve bağlantı tünellerinin ilk ve nihai kaplamalarının metro hattının işletmeye açılma süresine etkisinin analizi için halihazırda yapılmış olan (Klasik yöntem) birinci kaplamada çelik hasır montajı sonrası püskürtme beton uygulaması ve nihai kaplamada betonarme donatı bağlanması akabinde yürür kalıp ile beton dökülmesi yöntemi (D1) ile hiç kalıp olmadan çelik lif katkılı püskürtme beton kullanılarak ilk ve nihai kaplamaların yapılması (D6) durumları süre ve maliyet açısından mukayese edilmiştir.



Şekil 2. Çakmak İstasyonu 3D Görüntüsü (İBB, 2013)



Şekil 3. Çakmak İstasyonu Tünel Planı (İBB, 2013)

ÜÜÇ Metro projesinin planlanan iş programına göre 770 (25,5 ay) günde bitirilmesi gereken tünel kazı+destek+betonarme kaplamaları bu sürede tamamlanamamıştır. Çakmak istasyonunun sadece tünel imalatları sahada tutulan faaliyet raporlarına göre öngörülemeyen göçüklerin meydana gelmesi ve göçüklerden dolayı zeminin tahkimatı için harcanan süre sebebiyle yaklaşık 23 ay sürmüştür.

Bu durum metro projelerinin hedeflenen sürelerde tamamlanarak işletmeye alınabilmesi için alternatif kazı destek ve kaplama yöntemlerine ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

Bu amaçla ilk başta kazı destekte kullanılan hasır çelik ve püskürtme beton yerine hasır çelik montaj süresini ortadan kaldıracak çelik lif takviyeli püskürtme beton ile kazı desteğin yapılması durumu araştırılmıştır. Bunun için Etiyopya'daki Awash-Kombolcha-Haragebeya Demiryolu Hattı Hızlı Tren Projesinde hasırlı püskürtme beton ve çelik lifli püskürtme beton ile tünel kazı-desteği süreleri incelenmiştir. Awash-Kombolcha-Haragebeya Demiryolu Hattı Hızlı Tren Projesindeki aynı tip kesite sahip tünelde kazı-destek sürelerinin tutulduğu faaliyet raporlarından derlenmiştir. 10 günlük faaliyet raporunda çelik lifli püskürtme beton ile birincil kaplama 50 m'lik ilerleme sağlamıştır. Fiber takviyeli püskürtme beton uygulamasında çelik hasır montaj süresi olmayacağı için çelik hasır montajı, firkete delgi ve demirinin montajı sürelerini çıkarıldığında yapım süresinden %20'lik ciddi bir kazanım sağlanmıştır. Söz konusu süre kazanımı sadece tek sıra çelik hasır montajından elde edilen süre kazanımıdır. Çift sıralı çelik hasırla desteklenen tünellerde çelik lif uygulamasının kazandıracığı zaman tasarrufu iki katına çıkacak yani %40 lık bir zaman kazanımı sağlayacaktır (Araz, 2019). ÜÜÇ Metro projesinin planlanan iş programına göre ilk kaplama yapım süresinin 23 ay olarak öngörülmüştür.

İlk kaplamada fiber takviyeli püskürtme beton kullanılması durumunda % 40 lık azalma ile ilk kaplama yapım süresinin (  $23 * 0,6$  ) 13,6 ayda tamamlanabileceği hesap edilmiştir.

İkinci aşamada ise ikinci kaplamada alternatif uygulamalar Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metro projesi Çakmak istasyonu üzerinden araştırılmıştır. Bu bildiri ise iki yöntem (D1 ve D6) üzerinde durulup mali ve süre kıyaslamaları yapılmıştır (Şekil 4). D1 tünel kaplama yönteminde tünel kazısı sonrasında birinci kaplamanın çelik hasır montajı akabinde püskürtme betonu ve nihai kaplamada ise betonarme donatı bağlanması akabinde kalıp montajı yapılarak beton dökümü yapılarak tamamlanması durumudur. D6 da ise tünel kazısı sonrasında birinci ve nihai kaplamanın her ikisinin de çelik lifli püskürtme beton ile yapılması durumudur. Fiber takviyeli püskürtme beton ile yapılan tünel nihai kaplamada kullanılan lif miktarı ise  $40 \text{ kg/m}^3$ 'tür. D1 ve D6 yöntemleri ile yapılan tünel kaplamalarının maliyetleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 4. D1(sol fotoğraf) ve D6(sağ fotoğraf) Tünel Kaplama Yöntemleri

Tablo 1. Çakmak istasyonuna ait tünellerin kaplama yöntemine göre birinci ve ikinci kaplama maliyetleri

<b>Fiber takviyeli püskürtme beton içeren ve içermeyen Tünel Kaplamaları için İstasyon (NATM) Tünel Maliyetleri</b>	<b>Toplam Maliyet (€)</b>
D1 Tünel Kaplama Yöntemi	3.374.757,19
D6 Tünel Kaplama Yöntemi	2.814.387,30
Fiber Takviyeli Püskürtme Beton kullanımı ile maliyetteki azalma (D1-D6) / D1	16,6%

Tablo 2. Çakmak istasyonuna ait tünellerde dökme beton yöntemi ile yapılan ikinci kaplama süreleri

<b>Tünel Tipleri</b>	<b>Uzunluk (m)</b>	<b>Sayı</b>	<b>Zaman (ay)</b>
P1 Peron Tüneli	270	2	8,5
P2 Havalandırma Bağlantı Tüneli	32	2	1,5
B1.2 Bağlantı Tüneli	20	7	2,5
B3.1 Merdiven Tüneli	35	2	1,5
A Havalandırma Tüneli	75,86	1	2
Toplam Zaman (ay)			16

Tablo 3. Çakmak istasyonuna ait tünellerin kaplamaları çelik lifli püskürtme beton yöntemi ile yapıldığı takdirde ikinci kaplama süreleri

<b>Tünel Tipleri</b>	<b>Uzunluk (m)</b>	<b>Sayı</b>	<b>Zaman (ay)</b>
P1 Peron Tüneli	270	2	3
P2 Havalandırma Bağlantı Tüneli	32	2	0,6
B1.2 Bağlantı Tüneli	20	7	1,05
B3.1 Merdiven Tüneli	35	2	0,6
A Havalandırma Tüneli	75,86	1	0,75
Toplam Zaman (ay)			6

Tablo 4. D1 ve D6 Tünel kaplama yöntemlerinin ÜÜÇ Metro projesindeki yapım sürelerinin mukayesesi

<b>Tünel Kaplama Yapım Yöntemleri</b>	<b>Mobilizasyon süresi (ay)</b>	<b>Birinci kaplama süresi (ay)</b>	<b>İkinci kaplama süresi (ay)</b>	<b>Toplam süre (ay)</b>
D1 Tünel Kaplama Yöntemi	2	23	16	41
D6 Tünel Kaplama Yöntemi	2	13,8	6	21,8

Bu analizler birlikte değerlendirildiğinde gerek yapım maliyeti açısından gerekse de süre kazanımı anlamında birinci ve ikinci kaplamanın çelik lifli püskürtme beton ile yapıldığı durum (D6), birinci kaplamanın çelik hasır montajı akabinde püskürtme beton uygulaması ve tünellerin nihai kaplamasının donatı bağlanması akabinde kalıp kullanılarak dökme beton olması durumundaki nihai kaplama yapımı (D1) durumuna nispetle daha avantajlı olmaktadır. Zira tablolardaki verilere bakıldığında D6 tünel kaplama yöntemi, D1 tünel kaplama yöntemine göre yapım süresi %47 oranında kısaltmakta iken bu projedeki tekliflere göre maliyet de %16,6 oranında düşmektedir.

### 3 SONUÇ

- I. Yapılan saha tespitleri ve mukayese sonucu, birinci kaplamanın çelik hasır montajı sonrasında püskürtme beton uygulaması ve nihai kaplamada donatı bağlanması akabinde kalıp montajı sonrası beton dökülmesi durumunda tünel kaplamalarının 23+16=39 ayda tamamlanırken(D1); birinci ve ikinci kaplamanın donatılı püskürtme beton ile yapılması durumunda tünel kaplamalarının 13,8 + 6 = 19,8 ayda tamamlandığı ve D6 yöntemi ile %16,6 daha düşük maliyetle tünel kaplamalarının tamamlanabileceği görülmüştür. Bu kıyaslama ile özellikle metro projesinin süresel anlamda daha erken tamamlanması sonucu yapım sabit giderlerinin azalması ve işletme gelirleri göz önüne alındığında donatılı püskürtme betonun daha avantajlı olduğu aşikardır.
- II. Onaylı iş programına göre Çakmak İstasyonun tünelleri 770 günde (25,6 ay) tamamlanması gerekmektedir. Çakmak İstasyonun tünel birinci kaplaması (kazı destek) 23 ayda, tünel ikinci kaplamaları 16 ay olmak üzere toplam 39 ayda tamamlanmıştır. 23 ayda tamamlanan kazı destek sisteminde çelik lifli püskürtme beton kullanılması durumunda sürede %40 azalma beklendiğinden kazı destek süresi 13,8 ay sürmesi beklenmektedir. Çakmak İstasyonda Çelik lifli püskürtme beton ile imalatların yapılması durumunda tünellerin nihai kaplama yapım üresi 6 ay kazı destek süresi 13,8 ay ile toplandığında 19,8 ayda Çakmak İstasyonunun tünel imalatlarının tamamı iş programında öngörülen sürede tamamlanabilmektedir.

Netice olarak, uygulanacak yöntemin tercihinde işin süresi ve elde edilecek işletme gelirin ön planda olduğu metro gibi büyük projelerinde, gerekli işçilik ve imalat kalitesi sağlanması durumunda nihai kaplamanın donatılı püskürtme beton kullanılması ile süre ve toplam maliyet avantajı açısından değerlendirilmesi gereken bir yöntem olarak tebarüz etmektedir.

### KAYNAKLAR

- Namli, M., Cakmak, O., Pakis, I.H., Tuysuz, L., Talu, T., Dumlu, M., Balci, C., Copur, H., Bilgin, N. 2013." A methodology of using past experiences in the performance prediction of a TBM in a complex geology and risk analysis". In World Tunnel Congress, Geneva, Switzerland.
- Namli, M., Cakmak, O., Pakis, I.H., Tuysuz, L., Talu, T., Dumlu, M., Savk, S., Bilgin, N., Copur, H., Balci, C. 2014. "The performance prediction of a TBM in a complex geology in Istanbul and the comparisons with actual values". In Proceedings of the World Tunnel Congress 2014 –, Brazil.
- Namli M., Bilgin N. (2017). "A model to predict daily advance rates of EPB-TBMs in a complex geology in Istanbul". Tunneling and Underground Space Technology, 62 (2017), 43-52., Doi:10.1016/j.tust.2016.11.008 (Yayın No: 3004059)
- Bilgin N., Namli M., Copur H., Balci, C. Mamaghani A. 2016, "A model to predict the performance of EPB-TBMs in a complex geology in Istanbul", In World Tunnel Congress, San Francisco, USA
- Alan Armstrong-Wright, 2002, Dünya Bankası Raporu, WTP52
- Araz İ., 2019, "Metro Projelerindeki Tünellerde İkinci Kaplama Betonunu Olarak Donatılı Püskürtme Beton Kullanımının Proje Maliyetine Ve Süresine Etkilerinin Analizi", Yüksek lisans tezi, İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Türkiye