

KARAYOLU TÜNELLERİ HAVALANDIRMA ŞAFTLARI KAPLAMALARINDA KOMPOZİT CTP BORU KULLANIMI

Alperen Erođlu¹

1. GİRİŞ

Gelişen tünel açma teknolojisinin bir sonucu olarak, tünel açma maliyetlerinin uygun düzeylere inmesi ve tünel açma süresinin oldukça kısılması, ülkemizde ve dünyada uzun tünellerin yaygın olarak tercih edilmesine olanak vermiştir. Her ilerlemede olduğu gibi, uzun tünellerin açılması da, daha önce karşılaşılmamış pek çok çözülmesi gereken, mühendislik sorununu beraberinde getirmiştir. Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Avrupa Anlaşması ("Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road") ADR'ye göre istenen bazı özel koşullardan dolayı, bu tür tehlikeli maddeleri taşıyan araçların da, özellikle yeni açılan uzun tünellerden geçiş yapabilmesine olanak sağlanması amacıyla, uzun tünellerdeki standart havalandırma senaryolarının değiştirilmesi gerekmiştir.

Bir başka bakış açısıyla 10-15 km uzunluktaki tüneller, farklı iki iklimi, hava sıcaklığını veya yükseltiyi birbirine bağladığından, farklı saat dilimlerinde, farklı havalandırma sorunları ve senaryoları ile karşılaşmayı da olası

kılmaktadır. Bunların sonucu ve çözümü olarak özellikle uzun tünellerde, havalandırma şaftları (bacaları) kullanılmaya başlanmıştır. Havalandırma şaftları, topoğrafyanın izin verdiği bölgelerde doğrudan yeryüzüne çıkarken, uzun tünellerde havalandırma şaftlarının 500 m. ve üzeri yüksekliklere ulaşması nedeniyle, havalandırma için açılan başka tünellere bağlanması ile havalandırma şaftlarının kabul edilebilir yükseklikte olması sağlanarak, bu sorunun da üstesinden gelinmiştir.

2. HAVALANDIRMA ŞAFTLARI

Havalandırma tüneli veya dış ortam arasında inşa edilen havalandırma şaftları dikey olarak açılmakta olup, projenin şartlarına göre yükseklikleri 500 metreyi bulabilmektedir. Dolayısıyla şaft boyunca pek çok birbirinden farklı jeolojik katmandan geçilmektedir. Bütün katmanların litolojisinin birbirinden farklı olmasının yanında, bazen açılan şaftlar fayları da kesebilmektedir. Bu nedenle açılan şaft içerisinde dayanım ve yer altı suları başta olmak üzere çözümlenmesi gereken pek çok problem bulunmakta olup, kaplama yapılması zorunlu hale gelmektedir.

¹ SUPERLİT BORU SAN. A.Ş. Yatırımlar ve Proje Uygulama Direktörü - aeroglu@superlit.com

2.1 Havalandırma Şaftları Kazısı ve İç Kaplaması

Havalandırma şaftları kazısı "Baş Yukarı Delme Makinası" (RBM "Reef Boring Machine") ile yapılmaktadır. RBM'ler, yükseklik arttıkça toleranslar içerisinde kalan merkez aks-ta kaçıklıklara yol açabildiğinden, kazı sırasında yukarıdan aşağıya düşen kazı malzemesi, yüksekliğin artması ve aks kaçıklığı nedeniyle açılan şaftın çeperlerine çarparak aşağıya düşmekte ve şaft çeperlerinde doğal yapının dışında başka zararlar da verebilmektedir. Havalandırma şaftlarının, işletme sırasında elektromekanik gereksinimleri karşılaması, aynı zamanda şaft açma işlemi sırasında hasar görmüş, dinamik etkilerle düşme ve akma olasılığı bulunan kayaçların sabitlenmesi ve kuru, pürüzsüz bir yüzeye sahip olmasının istenmesi gibi nedenlerle, iç kaplamasının yapılması gerekmektedir. Ancak iş güvenliği riski, bu işlemleri sağlayacak kaplamanın el işçiliği ile yapılmasının önüne geçmektedir. Bu nedenle havalandırma şaftının kaplaması prefabrik olarak ve içeride çalışmaya olanak verecek dayanıklılığa sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır.

On beş km civarında olan bir tünel projesinde, konu kuruluşumuza ulaşana kadar, gerek yüklenici firma, gerekse proje firması tarafından konvansiyonel malzemelerden yapılan prefabrik çalışmalarla sorun irdelenmiş ancak betonarme elemanların kompozit CTP boruya kıyasla on kat, çelik borununsa yaklaşık beş kat ağır olması ve tünel içerisinde yer alan ve yüksekliği 394 m'yi bulan 3.600

mm çapındaki havalandırma şaftlarının kaplanması için gerekli vinçlerin, açılan havalandırma tünelleri içerisinde çalışmasının olanaksız olması nedenleriyle bir çözüm bulunamamıştır.

Projedeki sorun kuruluşumuza ulaştığında, konu "Proje Dizayn" ve "AR-GE" bölümlerimizce incelenmiş, CTP kompozit malzemenin bu projede yer alması ve çözümün bir parçası olması için çalışmalara başlanmıştır.

Açılan havalandırma şaftında (Fotoğraf 1) yapılan ilk belirlemeler aşağıdaki gibidir.

- ✓ Havalandırma şaftının kazısı yapılabildiği yaklaşık iki ay olmuştur.
- ✓ Şaftta toleranslar içerisinde kalan yaklaşık 1° derece aks kaçıklığı vardır.
- ✓ Havalandırma şaftının içinden dışarıya doğru hızlı bir hava akışı söz konusudur.
- ✓ Kazı sonrasında tünel içerisinde herhangi bir su akışına rastlanmamıştır.
- ✓ Havalandırma şaftının üst kısmında, gelen hava ile birlikte pulverize olmuş, ciddi oranda su çıkışı mevcuttur.
- ✓ Havalandırma şaftından zaman zaman kaya parçaları düşmektedir.



Fotoğraf 1. RBM ile Açılmış Havalandırma Şaftının Kaplama Öncesi Üstten Görüntüsü

- ✓ Şaft boyunca değişken zemin türleri bulunmaktadır.
- ✓ 1909 yılında kurulan ve yüz kırktan fazla ülkedeki ulaşım otoritelerini bir araya getiren Dünya Karayolu Birliği – “World Road Association”ın yayınlamış olduğu PIARC (Yol Tünelleri İçin Yangın Karakteristik Tasarımları – “Design Fire Characteristics For Road Tunnels”) kılavuzunda belirtilen ve Avrupa Birliği Parlamentosu’nun 29.04.2004 tarihli “Directive 2004/54/EC Minimum Safety Requirements For Tunnels In The Trans European Road Network” - Trans Avrupa Karayolu Ağındaki Tüneller İçin Asgari Güvenlik Gereksinimleri şartnamesi ile de uyumlu olacak şekilde, yangınla karşılaşabilecek tünellerin 400°C’de iki saat dayanım ölçütü dikkate alınarak havalandırma şaftının kaplaması yapılmalıdır.
- ✓ Şaft içerisinde pürüzsüz olması gerekmektedir.
- ✓ Şaft içerisine, dışarıdan içeriye doğru su girişi olmamalıdır.
- ✓ Kaplama İSG şartlarını sağlamalı ve içeride yapılacak çalışmalarda, çalışanları tehlikelerden korumalıdır.

Yapılan belirlemeler ışığında ortaya çıkarılan sorunlar birer birer ele alınarak çözüm üretilmeye başlanmıştır.

3. SICAKLIK DAYANIMI VE MALZEME SEÇİMİ

CTP boru tasarımında, kesit etkilerinin dışında, boru tasarımı için göz önünde bulundurulacak bir diğer konuda, tünel içerisinde işletme sırasında oluşabilecek bir yangında şaft yapılarının 200°C’de 2 saat veya 400°C’de 2 saat boyunca hizmet verebilmesi gerekliliğidir. Bu tasarım ölçütü için PIARC 2007 raporundaki örnek tasarım ölçütlerinden yararlanılmıştır. Bu rapora göre Avusturya ve Almanya’da, hava boşaltma fanları için sıcaklık dayanımı 400°C’de 90 dakika, Fransa’da 200°C’de 120 dakika veya 400°C’de 120 dakika (fanların trafik noktasına olan uzaklığına bağlı olarak) olarak belirlenmiştir. Bu nedenle şaft kaplama borularının sıcaklık dayanım ölçütü bu proje için (trafik noktasına olan uzaklığına bağlı olarak) 200°C veya 400°C’de 120 dakika olarak belirlenmiştir.

Yapılan tasarım çalışmalarında malzeme ve yapılandırma çalışmaları tasarlanan CTP boru, iki saat boyunca 200°C sıcaklıkta tutularak, dayanım değerlerindeki değişim incelenmiştir. Dayanıklılık testi TS ISO 8513 (Metot

A)’ya göre yapılmış, elde edilen sonuçlar yangın görmemiş orijinal örnek ile kıyaslandığında, CTP malzemenin mekanik dayanıklılığında, yüksek sıcaklık altında oluşan ısı etkileri nedeniyle bir miktar düşüş olduğu görülmüştür. Yangın görmüş örnek ile orijinal örnek dayanıklılık değerleri arasında yaklaşık 1/1,5 oranında bir fark saptanmıştır. Bunun üzerine ısı etkileri nedeniyle, bulunan sonuçlara FS = 2 güvenlik faktörü (“Thermal reduction safety factor” = 2) uygulanmıştır. CTP borular için kabul edilen eksenel yönde basınç dayanımı 85 MPa olduğundan, bu değer üzerinden yukarıda açıklanan ısı etkisi nedeniyle dayanıklılık kaybı hesabı yapılarak boru dayanımı için $85 / 1,5 = 56$ MPa düzeyi dikkate alınmış, bu değer üzerinden ısı etkileri nedeniyle kabul edilen güvenlik faktörü uygulanarak $56 / 2 = 28$ MPa değeri belirlendiğinden, hesap raporunda borunun eksenel yönde basınç dayanımı (“ultimate compressive axial strength”) 28 MPa değeri için gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda; kaplama malzemesi olarak tasarlanan CTP borunun, tasarım temelini oluşturan 200°C’de iki saat dayanım ölçütünü rahatlıkla karşıladığı görülmüştür.

400°C’de iki saat dayanımı sağlamak için CTP boru iç yüzeyinin çeşitli malzemeler ile kaplanması konusunda araştırma ve yanma deneyleri yapılmış, bu çalışmalar sonucunda en başarılı bulunan üç kaplama tipi belirlenmiştir.

- ✓ TRCCP kaplama (“Thermal Resistant Ceramic Composite Pipe”) (Seramik Kaplama)
- ✓ TRPC kaplama (“Thermal Resistant Paint Coating”) (Termos Boya Kaplama)
- ✓ TRGW kaplama (“Thermal Resistant Water Glass Coating”) (Sodyum Silikat Kaplama)

Belirlenen bu kaplamalardan seramik kaplama (TRCCP); ağırlığı arttırması, maliyetinin yüksek olması ve aynı zamanda 400°C’nin üzerinde oluşabilecek sıcaklık etkisinde seramik levhaların ayrılması söz konusu olduğunda, havalandırma şaftının tamamen tıkanmasına yol açma olasılığı göz önüne alındığından, seçilmemiştir.

Sodyum Silikat Kaplama (TRGW) yapılan testlerde iyi sonuçlar vermesine karşın bugüne kadar herhangi bir tünel uygulamasında kullanılmış olduğuna ilişkin bir bilgiye ulaşılamamış olmasından dolayı bu projede seçilmemiştir.

Termos Boya Kaplama (TRPC) malzemesinin, yapılan testlerde iyi sonuç vermesi, aynı zamanda çeşitli tünel projelerinde elektrik aksamlarının ve kablolarının yangına karşı korunması amacıyla seçilmesi ve deneyimlenmiş olması nedeniyle bu proje kapsamında kullanılacak olan CTP boruların iç yüzeylerine, koruyucu ısı yalıtım malzemesi olarak uygulanmasına karar verilmiştir.

Yapılan araştırmalarda, konu ile ilgili herhangi belirgin bir standardın olmaması ve bu konuda resmen tanınmış, akredite olmuş bir kurumun bulunmaması nedeniyle, söz konusu ısı dayanım testleri Herhangi bir STANDARTA UYGUN OLARAK yapılamamıştır. Bu nedenle yukarıda belirtilen üç kaplama malzemesine ilişkin testler ulusal alanda kalite, güvenlik, sağlık, çevre konularında uygunluk denetimi ve danışmanlık hizmeti veren bir firma gözetiminde yapılarak malzemelerin ısı dayanımına ilişkin rapor düzenlenmiştir.

Seçilen borunun, kaplamayı da içeren toplam ağırlığının belli olmasının ardından; montaj yöntemi konusunda seçenekler geliştirilmiştir. Bu seçeneklerin proje üzerinde yer alan daha büyük çaplı, daha derin ve lokasyon olarak daha zor bölgelerde yapılacak diğer havalandırma şaftlarında da uygulanabilir olması tercih nedeni olmuştur.

4. CTP BORU DÖŞENMESİ

Seçilen yöntem göre; şaft kuyusu, yeraltı suyunun kuyu içerisinde bloke olmadan akışına olanak verecek şekilde, 19-38 mm. çapında kırmataş malzeme ile tünel tabanından şaft üst seviyesine kadar doldurulması, boru montajının tünel içerisinden kırmataş dolgu malzemesinin aşağıya doğru yavaş bir şekilde, ani çökme ve hareketlere izin



Fotoğraf 2. Şaft Kuyusunun Kırmataş Malzeme ile Doldurulması

verilmeden sağılması ve şaft üstündeki malzeme üzerine konulan dört metre boyundaki boru parçalarının dolgu malzemesinin aşağı yöndeki hareketiyle birlikte kuyu içerisine doğru hareket etmesi ve her dört metre hareket sonunda diğer boru parçalarının birbiri üzerine eklenmesi şeklinde yapılmıştır (Fotoğraf 2, 3, 4).

Malzemenin aşağı yönde hareketi sırasında borunun malzeme içerisine batmasını engellemek için borunun hareketine kılavuz olacak şekilde CTP borunun ağzı boru dış çapına uygun, çelik kılavuz plakası ile kapatılmıştır.

CTP borunun tünel içerisine indirilmesi sırasında, tünel-kuyu bağlantı noktasından tünel tabanına kadar olan kesimde boru hareketini kontrol edebilmek amacıyla merkezleyici çelik bir kılıf ve boru içerisinde güvenli ça-



Fotoğraf 3. CTP Boruların Şaft İçerisine Montaj İşlemi



Fotoğraf 4. CTP Boruların Şaft İçerisine Montaj İşlemi



Fotoğraf 5. CTP Boru için Çelik Sehpa

İşabilme olanağını sağlayabilmek ve hava akışını sağlamak amacı ile tünel tabanında yerden yüksek çelik bir sehpa kullanılmıştır (Fotoğraf 5, 6).

İlk CTP borunun dört metre aşağı yönde hareketinin ardından tünel içerisindeki dolgu malzemesi sağma işlemi-



Fotoğraf 6. CTP Boru için Merkezleyici Çelik Kılıf



Fotoğraf 7. Kıırma Taş Malzemenin Sağılması ve Borunun Çelik Sephaya Oturması

ne ara verilerek, ardından dört metre uzunluğundaki diğer borunun şaft içindeki CTP boru ucunda yer alan manşon vasıtasıyla birleştirilmesi sağlanmıştır. Bu işlem yaklaşık dörder metrelik hareketler halinde tünel içerisinde tabanda hazırlanmış çelik sehpa CTP boru oturuncaya kadar kontrollü bir şekilde devam etmiştir (Fotoğraf 7).

Şaft yapılarının kazısı sırasında Baş Yukarı Delme Makinesi (RBM) ile kazı yapılması yöntemine bağlı olarak, şaft kuyusunun düşey doğrultusunda toleranslar içinde eksen kaçıklığı olasılığına karşılık; borunun şaft duvarına dayanma olasılığını azaltmak, aynı zamanda aşağı sürme hareketi sırasında manşon detaylarının zarar görmesini engellemek ve borunun kuyu duvarına takılması riskini en aza indirmek için kızak yapıları üretilerek belli aralıklarda, boru üzerine gelmesi olası yüklere uygun olarak, laminasyon (katmanlı yapı şeklinde) yöntemi ile boru üzerine monte edilmiştir. Ayrıca, borunun kuyu duvarına kaya bulonu ile ankrajlanması için gerekli olan ankraj plakasının boru arkasına yerleştirilmesi gerektiğinden boru arkası ile şaft duvarı arasında beton doldurulabilmesi ve ankraj deliklerinin delinebilmesi işlemlerinin hepsini karşılayabilecek bir tasarım yapılarak, Fotoğraf 8'de detayları verilen aksesuarlar üretilmiştir.

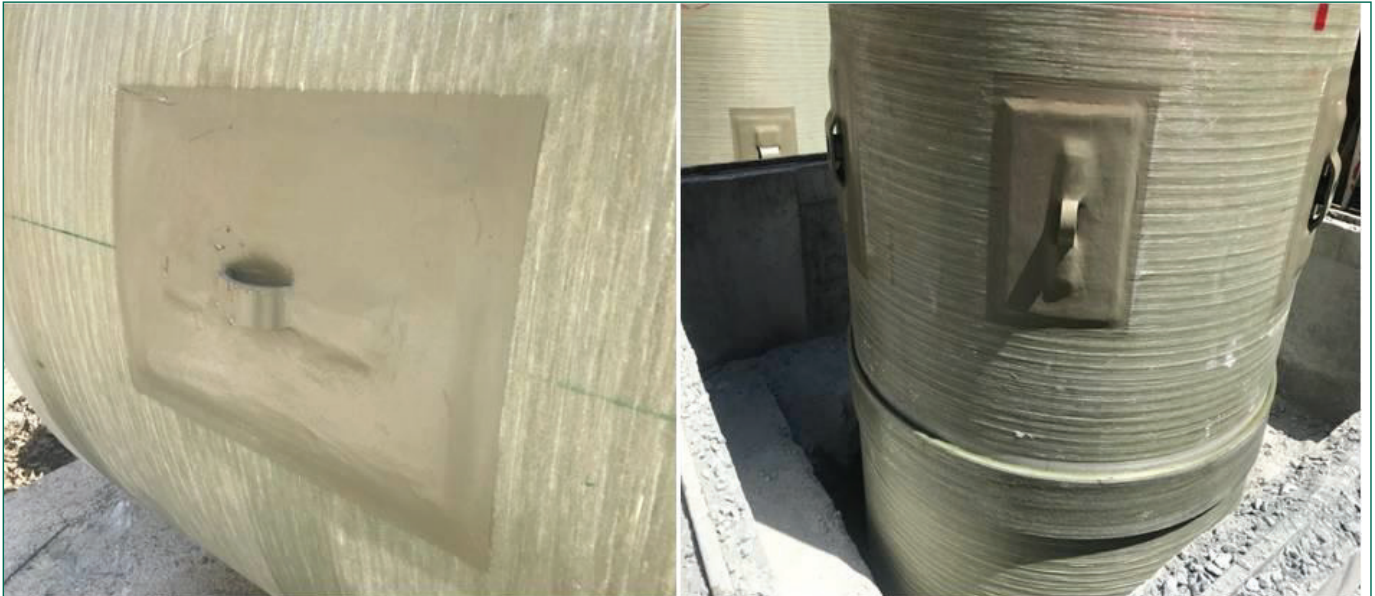
Ankraj deliklerinin pozisyonu, ankraj çapı, ankraj sayısı ve ankraj boyu, proje firması tarafından hazırlanan "Hesap Raporu" içeriğine uygun olarak belirlenmiştir. Boru çevresinde, üç adet enjeksiyon delikli ankraj parçası, borunun şaft duvarına dayanması ve takılması riskini ortadan kaldırmak için de, yine ankraj delikleri seviyesinde üç adet,



Fotoğraf 8. CTP Boru İçi Enjeksiyon Delikleri ve Aksesuar Detayları

zından, içeri doğru su girişi gözlenmişse; suyun sonraki aşamalarda boru ve şaft duvarı arasında yükselmemesi için ankraj deliklerindeki kapama tapaları sökülüştür.

3. Ankraj deliklerindeki kör tapaların sökülmesine karşın, boru arkasında biriken su sürekli kontrol edilerek iki metreden daha fazla yükselmesi farklı yöntemlerle de engellenmiştir.
4. Boru içerisine, yüksek çözünürlükte video kamera indirilerek bölümler halinde 360° görüntüler alınarak boru ve bağlantı noktaları detaylı olarak incelenmiştir.
5. Servis şaftının en alt noktasında; şaft-tünel bağlantısındaki boru ve ankraj duvarı çevresine sızdırmazlık sağlanması için kaplama yapılmıştır.



Fotoğraf 9. CTP Boru Merkezleyici Kızakları

dört metrelik borunun diğer ucunda da üç adet olmak üzere, her dört metrelik boruda toplam altı adet merkezleyici kızak kullanılmıştır (Fotoğraf 9).

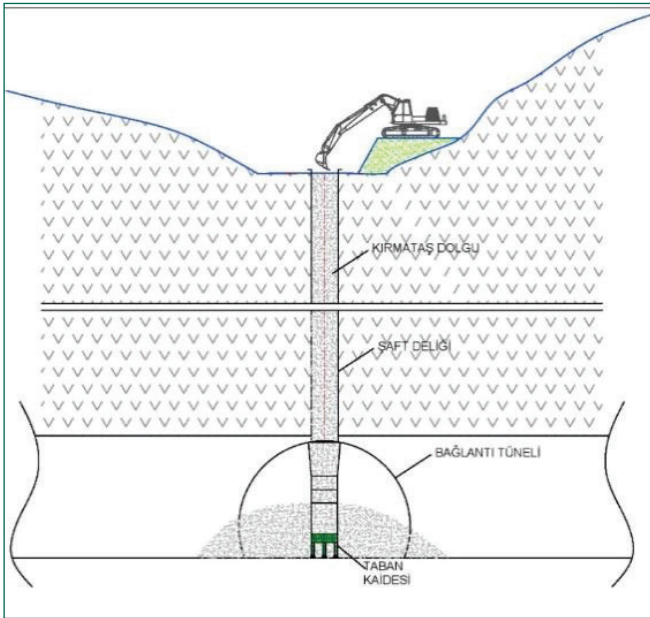
Boruların aşağıda bulunan çelik sehpaye oturmasının ardından yapılan işlemler aşağıda verilmiştir.

1. Boru montajı esnasında montajı yapılan borunun sırasını izleyebilmek amacıyla, boru sırasını ve numarasını belirten işaretlemeler, kamera çekimleri sırasında görülebilecek boy ve renkte boru içerisine işlenmiştir.
2. Şaft içerisinde, şaft duvarlarından ve/veya baca ağ-

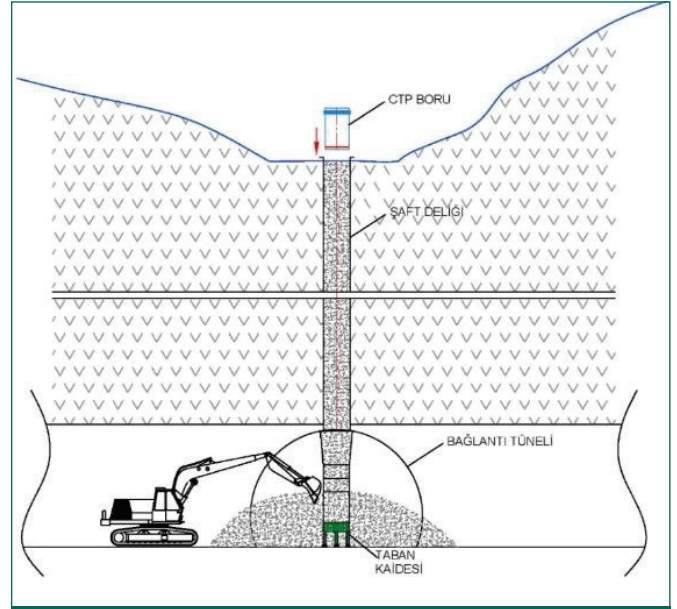
6. En alt borudaki uygun ankraj deliklerinden başlanarak en fazla 0,5 bar nozul çıkış basıncı ile boru ve şaft duvarı arasına en fazla iki metre yükseklikte hızlı kürleşen (istenilen kalite ve nitelikte) boru arkasını tamamen dolduracak şekilde beton enjeksiyon yapılmıştır.
7. Betonlama sırasında içten gerdirmeli çelik destek elemanlarıyla betonlanan bölge kürleşme tamamlanmaya kadar boru daireselliği korunmuştur.
8. Montajın her aşamasında; şaft girişindeki en son montajı yapılan boru kotu izlenerek, herhangi bir

oturma, çökme veya bozulma olup olmadığı gözlenmiştir.

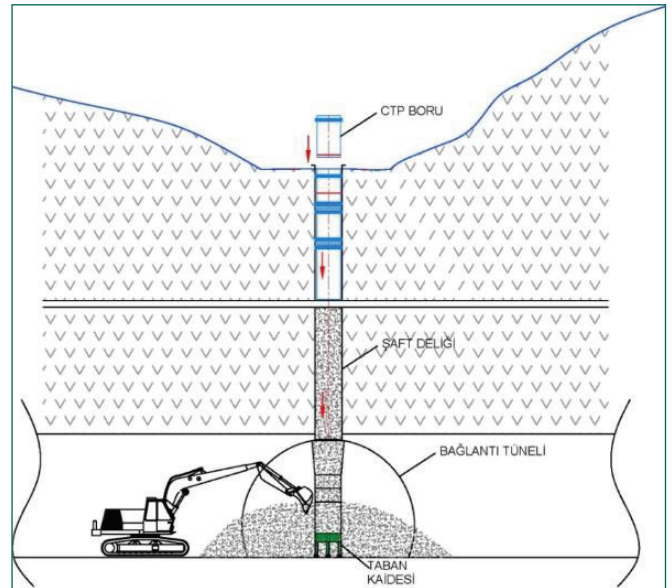
9. Bütün işlem adımları tamamlanıp, enjeksiyon işleri de bitirildikten sonra; en son dökülen betonun gerekli dayanıklılığı sağlaması beklenmiştir.
10. En son montajı yapılan baca ağzındaki borudan başlanarak; enjeksiyon yapılması için de, delikler kullanılarak enjeksiyon perdesi üzerinden şaft duvarında açılacak deliklere kaya bulonu ile borular sabitlenmiştir. Bulon delgileri uygun ölçülerdeki el tabancaları ile yapılmıştır. Bu işlem, en son boru sabitleninceye kadar yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla yapılmıştır.
11. Enjeksiyon dolgusu tamamlanmış bölgenin daha sonra kaya bulonu için delinmesi sonucu enjeksiyon perdesinin örselenmesi nedeniyle boru arkasına suyun geçmesi ve bunun sonucunda suyun yükselmesi riskine karşı gerekli önlemler alınmıştır. Herhangi bir su sızıntısı gözlemlenmesi durumunda kimyasal enjeksiyon uygulamaları ile sızdırmazlık sağlanmış ve montaj yöntemi, önce ankrajlama sonra enjeksiyonlama şeklinde değiştirilmiştir.
12. Ankraj delikleri ve kaya bulonları kafaları, boru iç yüzeyi ile eş yüzey olacak şekilde alçı veya sıva malzemesi ile pürüzsüz bir şekilde kapatılmıştır.
13. Boru iç yüzeyi; toz, kir, enjeksiyon döküntüsünden arındırılarak temizlenmiştir.



Şekil 1. Şaft Delgisi Sonrası Kuyu İçinin Doldurulması



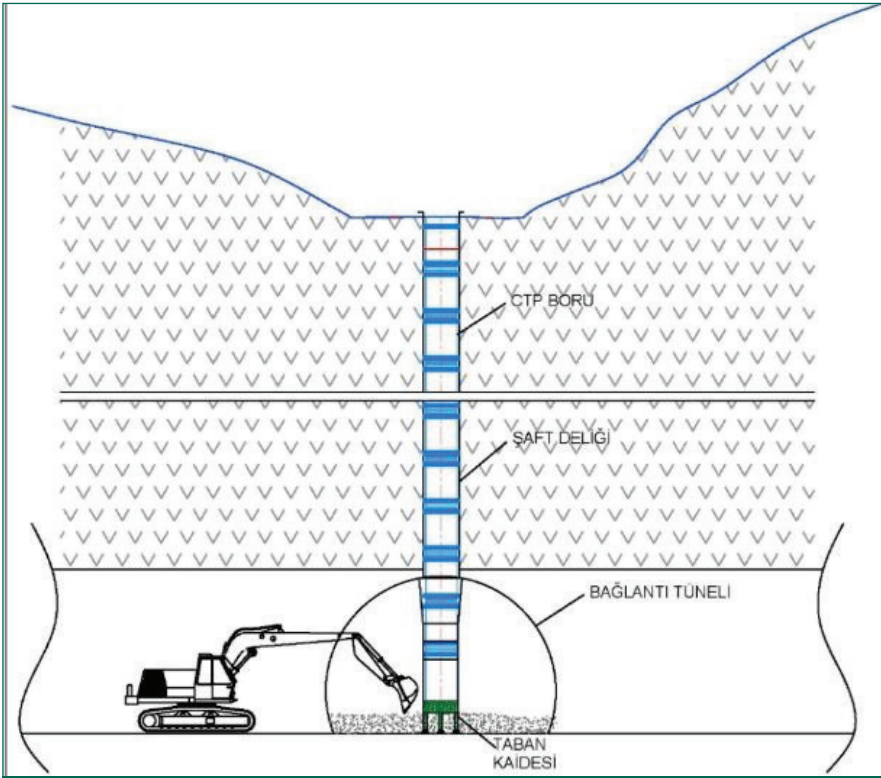
Şekil 2. Şaft Kuyusuna Yukarıdan Aşağıya CTP Boruların İndirilmesi



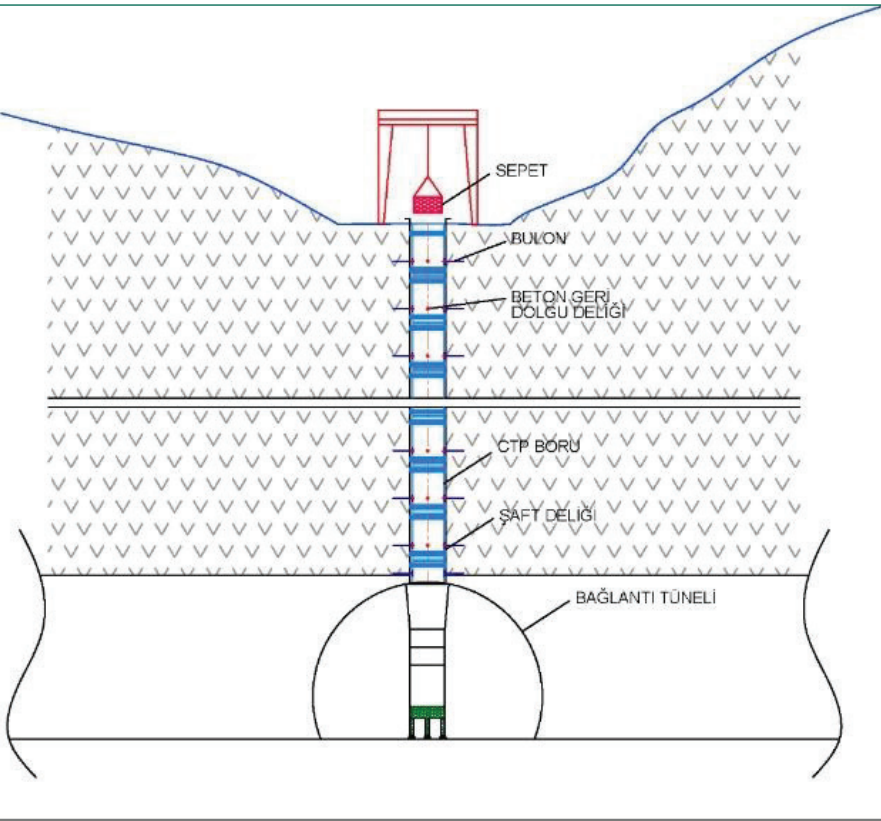
Şekil 3. Şaft Kuyusuna Yukarıdan Aşağıya CTP Boruların İndirilmesi

14. Boru iç yüzeyi 1 mm. kalınlığında Termos koruyucu boya ile boyanmış ve boyanın sudan korunması için gerekli önlemler alınmıştır.
15. İşlemlerin her aşaması için; İş Güvenliği Uzmanı tarafından önerilen, proje şartlarına uygun donanımlar kullanılmıştır.

CTP boruların şaft içerisindeki uygulama aşamalarını gösteren tipik kesitler Şekil 1, 2, 3, 4 ve 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. CTP Boruların Çelik Kılıf ve Çelik Sehpaya Oturtulması



Şekil 5. CTP Boru Yerleştirilmiş Sistemde Destekleme Çalışmaları

5. SONUÇ

Uzun tünellerde havalandırma ihtiyacının karşılanması için imal edilmesi zorunlu hale gelen "Tünel Havalandırma Şaftlarının" kaplanması, yaptığımız;

- Ürün geliştirme
- AR-GE
- Mühendislik
- Sorun çözme, çalışmalarıyla sorunsuz olarak hayata geçirilmiştir.

Yeni Zigana Tüneli (14.481 m) gibi ülkemizin en uzun karayolu tüneline yapılan bu çalışmanın gelecekte ülkemizde ve dünyada yapılacak diğer uzun tünel projelerine de ilham kaynağı olacağından hiç şüphem yoktur.

Özel olarak tasarlanan ve üretilen CTP (Cam Takviyeli Polyester) borular, DN3600 mm çapında dikey (~400 m) şaftlara, titizlikle geliştirilen montaj metodolojisiyle sorunsuz olarak yerleştirilmiştir.

6. KAYNAKÇA

1. "World Road Association"ın yayınlamış olduğu PIARC (Yol Tünelleri İçin Yangın Karakteristik Tasarımları - "Design Fire Characteristics For Road Tunnels") kılavuzu - 2007"
2. "Avrupa Birliği Parlamentosu'nun 29.04.2004 tarihli "Directive 2004/54/EC Minimum Safety Requirements For Tunnels In The Trans European Road Network" - Trans Avrupa Karayolu Ağındaki Tüneller İçin Asgari Güvenlik Gereksinimleri şartnamesi"