

TBM TÜNELLERİ İÇİN CAM ELYAF DONATI SOFT-EYE UYGULAMASI: MODERN YAPI MALZEMELERİYLE UYGULANAN ÇÖZÜMLER

GFRP SOFT-EYE FOR TBM BREAKTHROUGH: POSSIBILITIES WITH A MODERN CONSTRUCTION MATERIAL

MARC SCHÜRCH

BASLER & HOFMANN
SINGAPORE PTE LTD., SINGAPUR

PETER JOST

BASLER & HOFMANN
SINGAPORE PTE LTD., SINGAPUR

ÖZET

Tünel Açma Makinaları (TBM) ile tünel kazıları farklı zemin koşulları için günümüzdeki en gelişmiş teknolojidir. TBM'nin shaftlara ve istasyon kazılarına indirilmesi ve alınması için ilk yıllarda ciddi bir çaba gerekmektedir. Kazı shaftının çelik donatılı duvarlarının TBM ile geçilmesi kapsamlı ölçümler ve hazırlık işleri gerektirmekteydi. Cam Elyaf Donatı (GFRP) gibi modern yapı malzemelerinin kullanılması günümüzde tasarımcı ve müteahhidin iyi bilinen bu durum için yenilikçi çözümler bulmasına ve şantiyede zaman ve maliyet tasarrufu yapmasına imkân vermektedir. Bu makale Cam Elyaf Donatı (GFRP)'nın ilgili malzeme özelliklerini ve bunların alternatif TBM yeniliklerinin tasarım ve inşası üzerindeki etkilerini tartışmakta ve bahsedilen durum için olası çözümleri göstermektedir.

1 GİRİŞ

TBM'ler birkaç on yıldan beri tünel kazılarında kullanılmaktadır. Duruma bağlı olarak TBM'ler zemine giriş ve çıkışlarını aç kapa önceden açılmış kazılardan yapmakta veya TBM tünel seviyesindeki bir kazı shaftına indirilmekte ve bu seviyeden tünele girip, kazı çalışmalarına devam etmektedir. Bu uygulama daha çok kalabalık şehir alanlarında kullanılmaktadır. Birkaç yıl öncesine kadar TBM'ler kazı shaftları içerisine sokulup, çıkarılırken ciddi miktarlarda çelik donatılı betonarme olarak tasarlanmış olan shaft duvarlarının geçilmesi gerekmektedir. Bu iş ciddi bir hazırlık zamanı gerektirmekte olup, maliyeti artırıcı unsurlar arasındadır. Bununla birlikte son yıllarda bu alanlarda Soft-Eye'ların kullanılması git gide daha popüler hale gelmiştir. Soft-Eye, örneğin çelik konstruksiyon yerine Cam Elyaf Donatı (GFRP) ile güçlendirilmiş bir difayram duvarı veya kazık duvar olabilir. Ayrıca GFRP ankrajlara sahip ankrajlı tünel yüzeyi TBM kesicikafasını ileriye doğru giderken engellemeyecektir. GFRP ürünlerin tünellemede kullanımı Güneydoğu Asya'da gitgide yaygınlaşmakta ve son zamanlarda Avrupa ve Japonya'da geniş alanda kullanılmaktadır.

ABSTRACT

Building tunnels with Tunnel Boring Machines (TBM) is today state of the art in different ground conditions. Launching and receiving the TBM in shafts and station boxes has in earlier years required a considerable construction effort. Breaking through the steel reinforced walls of the excavation shaft with a TBM required extensive measurements and preparation works. Using modern construction materials as Glass Fibre Reinforced Plastic (GFRP) allows the designer and contractor today to find innovative solutions for the well known situation and save time and costs on site. The following article discusses the relevant material characteristics of GFRP and their influences on the design and construction of alternative TBM breakthroughs and shows possible solutions for the mentioned situation.

2. AVANTAJLARI

Son birkaç yılda şantiyelerde GFRP destekli ve ankrajların kullanılması git gide daha yaygın bir hal almaktadır. GFRP malzemeler günümüzde özel durumlarda, özel uygulamalarda, özel çözümler gerektiren hallerde kullanılmaktadır. Malzeme maliyeti geleneksel çelik donatı maliyetiyle karşılaştırıldığında daha yüksek olabilir, ancak örnek vermek gerekirse TBM'in kazıya başlama karşılama shaft inşaatının yapımı ilgili daha az bir iş ve işçilik miktarı ile bu durum telafi edilmektedir. Teknik seviyede GFRP ürünlerinin önemli avantajları bulunmaktadır. Esneklik, elastiklik ve minimum çevresel etkinin yanında aşağıdaki noktalar çelikle donatılı yöntem ile karşılaştırıldığında temel avantajlardır:

• Korozyon Direnci:

GFRP korozyondan etkilenmeyen dayanıklı bir malzemedir. Bu nedenle GFRP donatı/ankrajlar aynı zamanda tüm yaşam ömrü boyunca yapıyı destekleyen nihai kaplamanın bir parçası olarak da kullanılabilir. Çelik ankrajlarda gerekli olanın aksine ankrajın korozyona karşı korunması için aşırı bir tedbir almaya gerek yoktur.



GFRP

(GLASS FIBRE REINFORCED POLYMER)

TÜNEL VE MADEN ÜRÜNLERİ

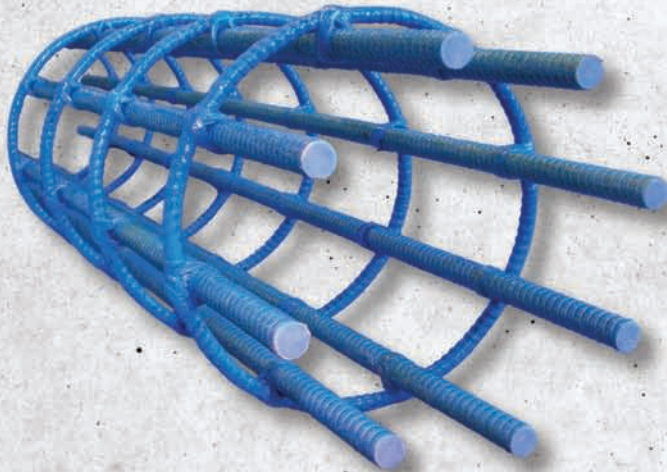
ÜRÜNLER

- Nervürlü Kaya Bulonu (*Powerthread*)
- Enjeksiyon Delikli Kaya Bulonu
- Kendinden Delen Kaya bulonu (*Spinmax*)
- Öngermeli Zemin Çivileri (*Spinset*)
- Enjeksiyon Bulonu (*Cablex*)
- Yüksek Basıncılı Enjeksiyon Bulonu (*Hiprex*)
- Donatı (*Rebar*)

UYGULAMALAR

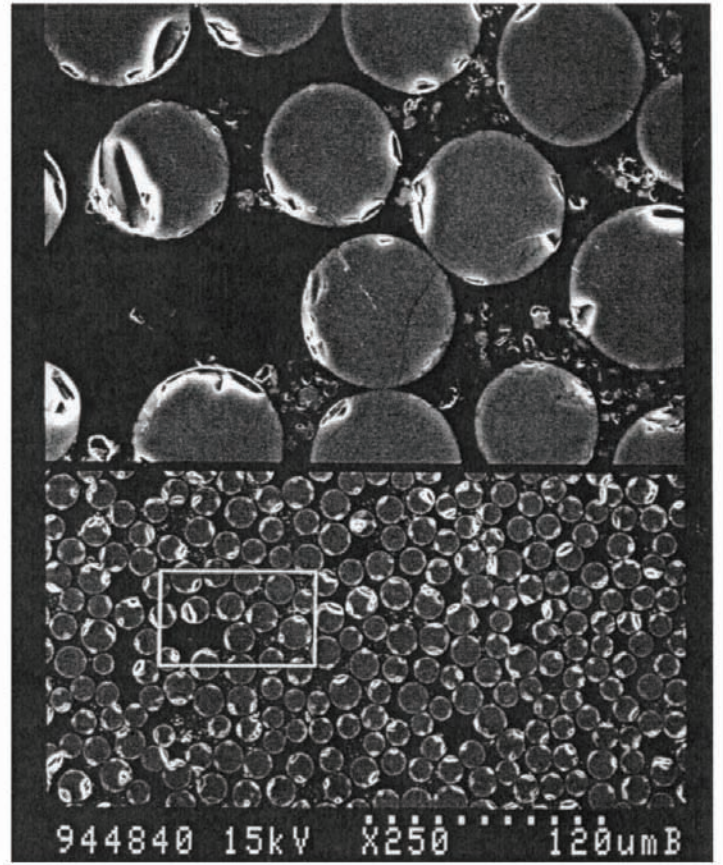
- Kalıcı ve Geçici Uygulamalarda
- Fore Kazık
- Diyafram Duvarı
- Şev Destekleme
- Kazı Destekleme
- Şev ve Portal Stabilizasyonu
- Göbek Çivisi
- Soft Eye

SOFT-EYE



REFERANSLAR

- Üsküdar - Ümraniye - Çekmeköy Metrosu
- Çayyolu - Keçiören Metrosu
- New Metro Rail Project in Perth, Avustralya
- Doha Metro - Green Line, Katar
- Thomson Line: T223, Singapur



Resim 1. Taramalı elektron mikroskopu altında GFRP çubuğun boyuna ve ara kesiti.

- **Yüksek Gerilme Dayanımı:**

GFRP çubuklar çok yüksek gerilme yüklerini taşıyabilmektedir. İnşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan elyaf çubuklar, aynı çaptaki çelik çubuğun neredeyse iki katı yük taşıyabilmektedir.

- **Kesilebilirlik:**

GFRP malzeme, testere, kazıklama/delme ekipmanı ve TBM araçlarıyla kesilebilir. GFRP sayesinde kesicikafa hasar görmez ve iş süratlenir. Elyaf çubuklar pası iletim hatlarına zarar vermeyen küçük parçalara bölünebilir.

- **Düşük Ağırlık:**

GFRP çubuğun ağırlığı, aynı boyutlara sahip çelik özdeşinin sadece dörtte biri kadardır. Çubukların esnekliği de göz önüne alındığında dar çalışma alanlarında veya kaldırma ekipmanı desteğinin mevcut olmadığı alanlarda dahi kolay montaj sağlamaktadır.

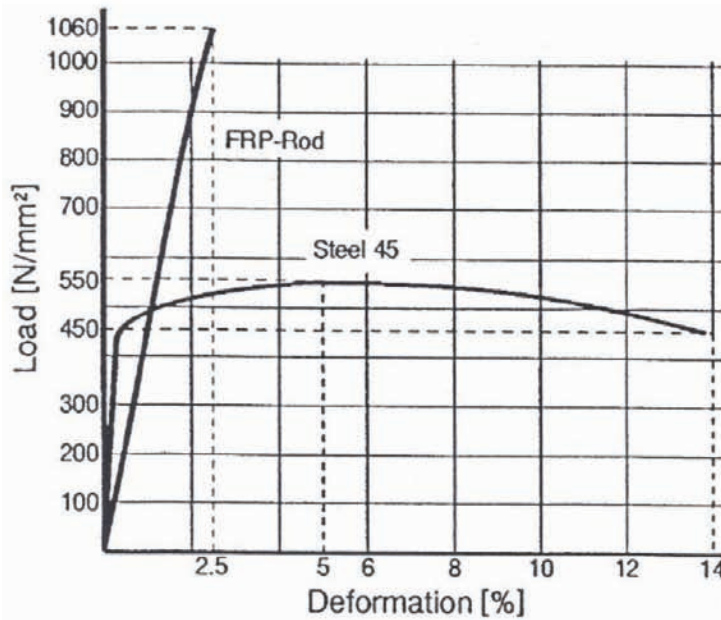
Günümüzde piyasada kendi içinde farklı avantaj ve dezavantajlara sahip çok farklı GFRP çubuk mevcuttur. Hatta nervürlü olarak üretilen bazı ürünler bile mevcuttur. Bu çubuklar, somunlar ve kuplörler gibi mevcut geniş aksesuar yelpazesiyle birlikte GFRP'nin şantiyelerde klasik çelik ürünler kadar esnek şekilde kullanımına izin vermektedir. Nervürler GFRP çubuk ile etrafını saran beton veya harç arasında yüksek bağlanma davranışını sağlamaktadır. Bununla birlikte çelik ürünlerin aksine GFRP'de kaynak yapılması mümkün değildir. GFRP'nin özelliklerinin kullanılan elyaf, reçine ve katkı tipine bağlı olduğunun ve üretim prosesinden etkilendiklerinin anlaşılması önemlidir. Bu nedenle, farklı marka GFRP'lerin özellikleri üründen ürüne değişiklik gösterdiği için tüm GFRP malzemeleri için geçerli genel teknik değerler verilmesi pek

uygun değildir. Spesifik detaylar için, farklı tedarikçilerden alınan ürün bilgileri değerli bilgi kaynakları olmaktadır.

3. GFRP MALZEMESİ

Çoğu cam elyafı ürün pultrasyon prosesi denilen bir süreçle imal edilmektedir. Cam elyafının tekil lifleri veya kumaşları reçineyle emdirilmekte ve gerekli şekilde biçimlendirilmektedir. Reçine kürünü almadan önce, örneğin donatı olarak kullanıldıklarında barlar ile beton arasındaki bağlanma özelliklerinin artırılması için çubuklar yüzey işlemine tabi tutulmaktadır. Yüzey işlemi, her tedarikçiye göre farklılık göstermektedir. Bu işlem, tüm yüzey boyunca sürekli nervür açılması veya çubukların kumla kaplanması ile ve yüzeyin pürüzlendirilmesi şeklinde olabilir. Yüzey işlemin ardından reçine kürünü alır ve çubuklar boyuna göre kesilir. Üretimin son adımı bu elyafların, alkali bozunmasına karşı ilave bir koruma olarak, reçineyle kaplanma yanında yüzeylerinin kaplanmasıdır.

Çubuklara yüksek gerilme direncini veren malzeme elyaflardır. Reçine sadece elyafları bir arada tutmakta ve onları hasarlardan ve alkali bozunmasından korumaktadır. Bu nedenle, çubukların yüksek gerilme direncine ulaşabilmeleri için GFRP ürününün cam içeriğinin yüksek olması arzu edilmektedir. Bu cam içeriği için tipik değer çubuk ağırlığının yaklaşık %75'idir, ancak %80'in üzerine çıkabildiği de görülmüştür. Reçine tek başına normalde ısıtıcıda kürlen, ısıyla sertleşen reçinedir ancak günümüzde mikrodalgada kürlenme de kullanılmaktadır. Bu, reçinenin polimerizasyonu gerçekleştiğinde bunun geri döndürülemeyeceği anlamına gelmektedir. Bu nedenle, örneğin kesme teçhizatı çubukları için gerekli bükümlerin üretim süresinde fabrikada



Şekil 2. Çelik çubuk ile mukayese edildiğinde FRP çubuğun tipik gerilme-şekil değiştirme davranışı



yapılması gerekmektedir. Burada, gerekli tüm şekiller proje gereksinimlerine göre imal edilmektedir. Şantiyede çubukların bükülmesi henüz mümkün değildir. Bununla birlikte reçinelerin gitgide geliştirilmesiyle bu adım önümüzdeki birkaç yılda atlatılabilir.

Lifin, kullanılan reçinenin tipi ve ayrıca üretim prosesinin detayları üreticiden üreticiye farklılık göstermektedir. İnşaat sektöründe kullanılan tüm çubukların ara kesitlerindeki paralel lif dizilimi veya reçine matrisindeki komple çevrilmeleri ortaktır. Resim 1'de taramalı elektron mikroskopuyla çekilmiş olup GFRP çubuk içerisindeki liflerin detaylı fotoğraflarını göstermektedir. Liflerin paralel dizilimi boyuna kesitte açık şekilde görülebilirken, liflerin reçine içine gömülmesi ara kesitte gözlemlenebilmektedir.

4. TEKNİK PERFORMANS

GFRP donatı çubukları, 1000 N/mm²'nin üzerine ulaşabilen çok yüksek gerilme dayanımına sahiptir. Ancak farklı üreticilerin çubukları için değerler farklı olduğundan tüm çubuklar için genel bir değer verilememektedir. Ayrıca, cam elyafından yapılan donatı çubuğunun çekme dayanımı çubuk çapına da bağlıdır. Daha küçük çaplı çubukların çekme dayanımı daha yüksek çaplılara göre daha yüksektir. Bu nedenle taşıma kapasitesi GFRP çubuklar için daha bilgi vericidir. Çubuklar geniş bir kalite ve çap yelpazesinde imal edildikleri için günümüzde piyasada talep edilen taşıma kapasitesine sahip, spesifik bir uygulama için uygun ürün bulunabilmektedir. Günümüzde Singapur'da 700 kN'nin çok üzerinde taşıma kapasitesi olan çubuklar mevcuttur.

GFRP çubuklar, onları sıklıkla kullanılan çelik çubuklardan ayıran bazı tipik malzeme davranışlarına sahiptir. Bunların birincisi ve en önemlisi malzemenin akma davranışından yoksun oluşudur. GFRP Şekil 2'de görüldüğü üzere yenilme olana kadar doğrusal elastiktir. GFRP çubukların Soft-Eye alanlarında donatı olarak kullanılma sebebi budur. Gevrek yenilme davranışı TBM'nin beton ve donatı

çubukları içerisinde delme işlemi yapmasına izin vermektedir. Çelik donatılar akma davranışından ötürü TBM'de tıkanmaya sebep olabilir. TBM'in kesicikafası üzerindeki keskilere tünel aynasından uygulanan lokal olarak yüksek yükler çelik donatının akma deformasyonuna dönüştürülmektedir. Bu da TBM'nin çelik donatılı beton yapı içerisinde geçmesini engellemekte ve keskilelerde hasara yol açmaktadır.

GFRP'nin bahsedilen doğrusal elastik davranışına çubuk içerisindeki yük taşıyıcı eleman olan lifler yol açmaktadır. Liflerin özellikleri göçmeye kadar doğrusal elastik gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ile tarif edilebilir. Bu nedenle gerilme yükleri altındaki çubukların deformasyon davranışı, çubuk içerisinde kullanılan liflerin spesifik davranışıyla açıklanabilir. GFRP çubukların tipik elastisite modülü yaklaşık 40,000 N/mm² civarındadır. Bu düşük elastisite modülü, büyük deformasyonlara yol açabileceği ve de bu nedenle beton yapılarda çatlaklar açabileceği için genel manada malzemenin dezavantajıdır. Bununla birlikte özel durumlarda GFRP çubukların bu düşük Elastisite Modülü avantajlı da olabilir. GFRP çubukların, öngerilimli ankrajlar olarak, örneğin zeminin orta seviye deformasyonlarında kullanılması ankraj yükünde ufak ayarlamalar yapılmasıyla sonuçlanacaktır. Örneğin, beton çekmesinden ötürü öngerilim kuvvetinin güçlü şekilde kaybı bu şekilde engellenebilir.

Her ne kadar GFRP'nin çelik konstruksiyona göre elastisite modülü düşük, kopma yükü neredeyse iki kat da olsa, ortaya çıkan deformasyonlar, cam elyafının akma davranışı eksikliğinden ötürü orta derecededir. Bunun sonucunda GFRP donatılı inşaat elemanının yenilmesi gevrek olarak kabul edilmekte ve elemanın fazla yüklenmesinin engellenmesi için tasarım sürecinde ciddi seviyede dikkat edilmelidir.

5. GFRP İLE TASARIM

İnşaat sektöründeki ilk GFRP uygulamaları 20 yıldan uzun bir geçmişe sahiptir. Bu uygulamalar, daha çok elektriksel olarak akım geçirmez donatının talep edildiği veya yapının ciddi şekilde

korozif ortama maruz kaldığı projelerle ilgiliydi. GFRP, en çok otoyol köprüleri ve havalimanı pistleri gibi buzlanmaya karşı yüksek tuz konsantrasyonlarının kullanılması muhtemel alanlar ile kronman duvarı gibi deniz yapılarında kullanılmıştır. GFRP özellikle ABD, Japonya gibi son derece gelişmiş ülkeler ile geçtiğimiz on yıllar boyunca çok sayıda araştırma çalışmasının gerçekleştirilmiş olduğu Avrupa'da kullanılmaktadır. GFRP ile inşaatta uzun süreli tecrübe sahibi olmanın avantajına sahip bu ülkeler, aynı zamanda GFRP malzemesinin tasarımı için standartlar ve yönergeler oluşturmaktadır. Bunların en sık kullanılanı, Amerikan Beton Enstitüsü tarafından yayınlanan ACI 440.1R "FRP çubuk Donatılı Betonun Tasarım ve İnşaatı" başlıklı Amerikan yönergesidir. Diğer ülkeler de, örneğin Büyük Britanya'nın İngiliz Standartları ve Yapı Mühendisleri Enstitüsünün "Lifli kompozit donatı kullanan donatılı beton yapıların tasarımıyla ilgili ara yönerge", Almanya'nın DIN Kuralları ve ayrıca Japonya veya Kanada'ninkiler gibi oluşturulmuş ve kabul gören tasarım ve inşaat standartları bulunmaktadır.

Geleneksel çelik konstruksiyonlu tasarımlar ile karşılaştırma yapıldığında GFRP ile yapılan tasarımlar, kullanılan malzemelerin tipik malzeme özelliklerine göre bazı önemli farklılıklar göstermektedir. Bunların en önemlisi, GFRP'nin çekme yükü altında çökmeye kadar akma deformasyonu olmayan doğrusal elastik bir davranış sergilemesidir. Beton haricindeki GFRP donatılı bükülme elemanlarının tasarımı için, çelik donatıda kullanılan farklı bir tasarım yaklaşımı seçilmektedir. Çelik donatı dizaynında genellikle, yapının sünek kırılma eğilimi güvenceye alınmak amacı ile beton kırılmadan çeliğin aşırı yüklenmesi ve akması dikkate alınırken, söz konusu tercih GFRP donatılı tasarımda bir seçenek değildir. GFRP dizaynlarında hem betonun parçalanması (beton parçalanma çökmesi) hem de cam elyaf donatının gerilimden kopması (kopma-kontrollü çökme) dikkate alınır.

Kopma kontrollü modda çökme sınırlı uyarıyla ani çökme meydana gelirken, beton parçalanmasıyla çökme, betonun parçalanmasından kaynaklanan deformasyonlar sebebiyle plastik benzeri davranış sergilemektedir. Bunun sonucunda, gözlemlenebilir deformasyonlarca çökme haberdar edildiğinden daha yüksek güvenilirlik sağlanmaktadır. Bu nedenle, ACI 440.1R tarafından beton kırılmalı çökme için çubukların gerilme dayanımının indirgeme dayanım katsayısı 0.7 olarak tavsiye edilirken, ani yırtılma kontrollü çökme için daha ihtiyatlı bir oran olan 0.5 önerilmektedir. İki çökme modu arasındaki geçiş aralığında katsayılar arasında doğrusal bir interpolasyon seçilmektedir.

Cam elyafının akma davranışının olmaması da çubukların bükülmüş alanlarındaki çekme dayanımını etkilemektedir. Lif bükülmesi ve gerilim konsantrasyonları gibi diğer etkiler arasında, çubuğun bükülmüş kısımlarındaki farklı liflerin, ilk liflerin çökmesinden ötürü eşit olmayan şekilde yüklenmeleri ve bu nedenle lifler nihai çekme dayanımlarına ulaşmadan önce çubuğun çökmesi engellenememektedir. Bu nedenle çubuğun gerilim kapasitesi, düz kısımla mukayese edildiğinde bükülmüş kısımda azalmaktadır. ACI 440.1R, bu azalmanın nasıl tespit edileceğine dair detaylı bir tavsiye vermektedir.

Akma davranışı eksikliğinin tasarım üzerindeki benzer bir etkisi de GFRP'nin düşük Elastisite Modülüne sahip olmasıdır. Özellikle servis ömrü boyunca bir tasarım kriteri olduğunda bu önemli

bir kriterdir. Çeliğinkinden yaklaşık 5 kat daha düşük elastisite modülüne sahip oluşu ile, tasarımların çatlak genişliği sınırlaması veya sınıflı defleksiyon göz önüne alınarak yapılması durumunda, malzeme maliyetlerini benzer şekilde arttıran çok yüksek yüzdede donatı ihtiyacı gerektirebilmektedir. Bu nedenle servis ömrü ile ilgili genel şartnamelerin, GFRP donatılı beton elemanları için geçerli olup olmadığının dikkatli şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Örneğin belirtilen çatlak boyu sınırlaması için birincil neden donatının korozyonu olduğunda, GFRP çubuklar korozyona karşı dirençli olduğundan bu gereksinim gevşetilebilir. Genel olarak, Soft-Eye'lar gibi kısa yaşam süresine sahip GFRP harici donatılı yapılar için, eğer elastik kriterler endişe konusu değilse çatlak genişliği sınırlamalarının göz ardı edilebileceği söylenebilir. Bununla birlikte GFRP donatılı elemanların deformasyonlarının özellikle, doğrudan çelik donatılı elemanlarda etkileşime geçmeleri halinde dikkate alınmaları gerekmektedir. Elemanların farklı deformasyon davranışları, diğerleri yanında, tasarım sürecinde göz önünde bulundurulması gereken ciddi yük yeniden dağılımlarına yol açabilmektedir.

Kazı şaftındaki emniyetli bir Soft-Eye tasarımına hizmet eden nihai amaç sadece doğru çapı seçmeyle ilgili bir problem değildir. Aynı zamanda genel planlama sürecinin bir parçasıdır ve müşteri, danışman, müteahhit ve uzman tedarikçinin birlikte çalışmasını ve iletişimi gerektirmektedir.

6. SOFT-EYE'LAR

Soft-Eye'lar genellikle lokal olarak GFRP çubuk donatılarla takviye edilmiş kazık veya diyafram duvarlarından meydana gelmektedir. Tünelin altındaki ve üstündeki kesimler geleneksel çelik kullanılarak güçlendirilmektedir. Tasarımcının ve müteahhidin tercihlerine göre diyafram duvarı dikdörtgen şeklinde GFRP çubuklardan oluşmakta ya da cam elyaf donatının tünel kesitine daha yakın olması amacı ile yuvarlak bir şekilde GFRP donatılar ve bağlantı elemanları kesite yerleştirilmektedir. Her iki durum da kendine göre avantajlar içermektedir. Dikdörtgen kesit olacak şekildeki dizilim kafeslerin tasarım ve montajı esnasında zaman tasarrufu sağlarken, tünel kesitini daha yakından takip etmek GFRP çubukların malzeme maliyetini düşürmektedir. Genel uygulama, Resim 3'de de görülebileceği üzere her iki yöntemi de içeren hibrid bir uygulamadır. Deneyimler, bu yaklaşımın kafeslerin detaylı tasarım ve montajı hala etkinken GFRP malzemesinin malzeme maliyetini mümkün olan minimumla mukayese edildiğinde %5'ten daha az arttırdığını göstermektedir.

GFRP'den üretilmiş ilgili donatı kafeslerin şantiyelerde inşa edilmesi ile şantiyelerde çelik bir kafes inşa edilmesi aynı çalışma prosedürlerini gerektirmektedir. Gerekli çubuklar özel yapılmakta ve montajın yapılacağı şantiyeye teslim edilmektedir. Donatılar bağlayıcı kablo, kablo tutucular veya benzer ürünlerle birbirine sabitlenmektedir. Yüksek yüklerin bir bağlantı üzerinden aktarılmasının gerekli olduğu durumlardan donatıların birbirine kenetlemek için U-cıvatalar kullanılmaktadır. Örneğin düşey GFRP çubuklar ile kaldırma ve kafesin yerine indirilmesi süresince donatı kafesinin ölü yükünü kaldırmak zorunda olan çelik çubuklar arasındaki bağlantılar bu durumun örnekleridir. Söz konusu durumlarda çelik donatılarla sıklıkla yapılan kaynaklama GFRP çubuklarla mümkün değildir.



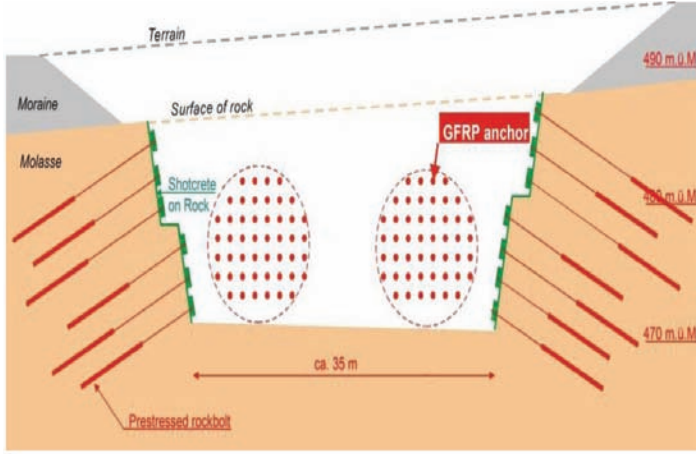
Resim 3. Perth, Avustralya'daki Yeni Metro Hattı Projesindeki diyafram duvarının Soft-Eye donatısı.

Diyafram duvarı kafesleri için GFRP donatı kullanılması belirli bir amaç için en uygun panel boyutunu seçmede tasarımcı ve müteahhidi sınırlamamaktadır. Bununla birlikte cam elyaf donatının elastisite modülü göreceli olarak düşük olduğundan, taşıma ve kaldırma sürecinde kafes bütünlüğünü sağlamak için özel tedbirlerin alınması gerekmektedir. Aksi takdirde kafesi kaldırırken ve düşey pozisyona döndürürken büyük deformasyonlar meydana gelebilir. Bunun sonucunda donatılar yer değiştirebilir ve hatta çubuklar yerlerine iyi oturmadığından kafes açık

kalabilir. Söz konusu olayların meydana gelmesini engellemek için taşıma ve kaldırma esnasında GFRP kafesi sabitlemek için destekleyici çerçeveler veya çelik kirişler kullanılabilir. Bu sabitleme elemanları normalde GFRP donatı kafesinin dışına monte edilmekte ve bunların kaldırma sürecinde kafese etki eden eğilme momentlerine dayanacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Kafes dikey pozisyona geldiğinde, sabitleme elemanları kafes hendeğe alçaltılmadan önce kesit kesit sökülür. Resim 4, diyafram duvarı için GFRP kafes üzerinde çelikten yapılan sabitleme çerçevesini göstermektedir.



Resim 4. Detaylı GFRP donatı detayları duvar kazık ve diyafram duvarı (çelik destek elemanı ile birlikte)



Şekil 5. İslisbergtunnel, İsviçre'nin tünel yüzünde Soft-Eye olarak kullanılan GFRP ankrajlarını

6.1 Alternatif uygulamalar

Daha fazla alanın mevcut olduğu ve zemin koşullarının daha olumlu olduğu durumlardan kazı açıklıklarında çoğunlukla püskürtme beton ve ankrajlarla sabitlenmektedir. Bu durumlarda, kazı duvarlarındaki deformasyonları sınırlamak için sıklıkla öngerilimli çelik ankrajlar kullanılmaktadır. Bununla birlikte tünel bölgesindeki söz konusu çelik ankrajlar prosesi engellemekte ve TBM'nin kesicikafasına hasar vermektedir. Ayrıca böyle bir inşaat metodu için Soft-Eye çözümleri mevcuttur ve başarıyla kullanılmaktadır. TBM'nin engelsiz olarak geçişine izin vermek için arkadaki TBM aynasındaki çelik ankrajlar GFRP ankrajlarla değiştirilmektedir. Söz konusu uygulama için yüzeylerinde sürekli nervür olan GFRP ankrajlar tercih sebebidir. Bunlar ankraj plakası ve somun ile ankraj miline herhangi bir özel alet gerekmesizin kolaylıkla monte edilmektedir. Ayrıca söz konusu nervürlü çubuklar, istenildiği şekilde ankrajlar üzerindeki çubuklara yerel olarak en yüksek yüklerin verilmesine izin vermektedir. Standart Soft-Eye ile benzer şekilde, bu yolla GFRP malzemesinin kullanılması kazı işlemini engellememektedir. Şekil 5, İsviçre'deki ulusal otoyol sisteminin bir parçası olarak İslisbergtunnel'deki söz konusu uygulamayı göstermektedir.

Tünel kesitinin veya ankrajların yerleştirilmesinden sonra inşa edilen pilot tünel veya kazı açıklıklarının geçici olarak desteklenmesinde ankrajların kullanıldığı yerlerde de benzer durumlar ortaya çıkmaktadır. Bu durumlarda GFRP ankrajlarının kullanılması, yukarıda belirtilenlerle aynı avantajlara sahiptir

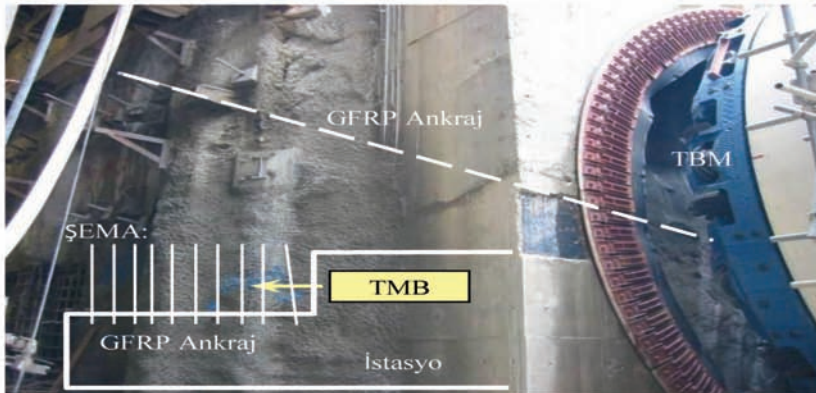
çünkü bunlar kazı makinelerinin çalışma aletleri tarafından kesilebilmektedir. Resim 6, inşaat esnasında kazı açıklığının tespit edilmesi için ön gerilimli GFRP ankrajlarının kullanılması örneklerini göstermektedir. TBM'nin hareketine başlamasına izin vermek için ankrajların kesilebilir olması esastır. Alternatif olarak sökülebilir ankrajlar da kullanılabilir. Ancak, böyle bir çözüm için, kazının yapısal emniyetinin güvence altına alınması ve aynı zamanda TBM'nin ilerlemesinin engellenmemesi açısından TBM'nin ilerlemesinin ankrajların sökülmesiyle koordine edilmesi gerekmektedir. Böyle bir çözümünden, teknik olarak mümkün olmasına rağmen, daha büyük toplam inşaat maliyetlerine yol açacağından kaçınılmıştır.

7. SONUÇ

Kazı shaftında TBM'i kazısının çeşitli yollar olsa da, diyafram veya kazık duvarlarında donatı olarak GFRP çubuklarını kullanan bir çözümün birçok durumda en rekabetçi çözüm olduğu kanıtlanmıştır. Soft-Eye'ların kullanılması sadece toplam inşaat süresi ve maliyetlerden tasarruf etmekle kalmamakta, aynı zamanda günümüzde şantiyelerde uygulanmakta olan yüksek emniyet standartlarına da uygun bir çözüm sunmaktadır. İnşaat sektörünün GFRP malzemelere olan talebi günden güne artmaktadır ve Soft-Eye kullanımına ek diğer bazı uygulamaların da eklenmesi ile GFRP kullanımı ilerideki yıllarda inşaat sektöründe daha yaygın hale gelecektir.

REFERANSLAR

- ACI Committee 440. ACI 440.1R-01: Guide for Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars. American Concrete Institute. Farmington Hills, 2001.
- IStructE. Interim guidance on the design of reinforced concrete structures using fibre composite reinforcement. The Institution of Structural Engineers. London, 1999.
- Resim 1: Dr. Mayer, J. Untersuchung der Langzeitstabilität von glasfaserverstärkten Felsankern. ETH Zürich, Professur für Biokompatible Werkstoffe und Bauweisen, 16 June 1995. Schlieren, Switzerland.
- Şekil 2: Picture by Setsco Services Pte. Ltd. 5 Ağustos 2004. Singapore.
- Resim 3: Picture by Leighton Kumagai JV. New MetroRail City Project. 14 Ocak 2005, Perth, Avustralya
- Şekil 5: Dr. Vollenweider AG, Geotechnik Grundbau Tunnelbau. N4.1.6 İslisbertunnel: Voreinschnitt Süd. June 2004, Rapperswil, Switzerland ■



Resim 6. Singapur'daki kazıyı sabitlemek için lokal olarak kullanılan öngerilimli GFRP ankrajları