

Karbon Lifleriyle Güçlendirme Sistemi

Betonarme, yığma ve ahşap yapı elemanları için dışarıdan uygulamalı güçlendirme sistemidir.

Sistem elemanları : karbon lifli dokuma ve epoksi esaslı doyurma reçinesi olarak sayılabilir



Mevcut betonarme yapıların büyük bölümünde beton basınç dayanımını projelendirme sırasında öngörülen değerden düşük, enine ve boyuna donatılar günümüz yönetmelikleri tarafından öngörülen şartları sağlamaktan uzaktır. Bu eksiklikler düşey taşıyıcı elemanların aksel yük, kesme kuvveti, eğilme momenti taşıma kapasiteleri ile sünekliklerini olumsuz etkilemekte, bunun sonucunda yapıların deprem karşısındaki davranışı öngörülenden çok daha başarısız olabilmektedir. FRP kompozit malzemelerin bu eksikliklerin giderilmesi amacı ile yapı mühendisliğinde de kullanımı günden güne artmaktadır.

Hasar görmüş betonarme elemanlara başlangıçtaki orijinal mukavemetlerini kazandırmak veya güçlendirmek amacı ile karbon lifi – cam lifi takviyeli epoksi esaslı kompozit malzemeler çelik plakalarla yapılan geleneksel güçlendirme sistemlerine alternatif olarak geliştirilmişlerdir. Çekme dayanımları çelikten fazla olan bu tür kompozit malzemelerin en büyük avantajları hafif olmaları, korozyona uğramamaları, ve rulolar halinde saklanabilmeleri ve kolaylıkla uygulanabilmeleridir.

Özellikle tarihi ve yığma yapılarda deprem vb. etkiler altında yapının komple göçmemesi, tarihi görünümünü koruması ve orijinal yapısının bozulmaması istenir. Bu durumda klasik olarak uygulanan çeşitli güçlendirme yöntemlerinin yapı sistemini ve görünümü değiştirmesi, ağırlığını arttırması, çelik, betonarme vb. elemanların mevcut taş, tuğla elemanlarla birlikte çalışmasının etkin olarak sağlanması gibi giderilemeyen veya giderilmesi çok zahmetli olan problemler ortaya çıkmaktadır.

Pek çok durumda FRP malzemeler bu dezavantajları ortadan kaldırmaktadır. FRP malzemelerden burada bahsedilecek olanları karbon, cam ve aramid dokumalar, karbon ince plakalardır.

Frp'ler sadece lif eksenine paralel çekme kuvvetlerini karşılayabildikleri için uygulama yönü önemlidir. İki yönlü tabakalar halinde uygulandığında kirişlerde eğilme ve kesme dayanımının, kolonlarda eğilme ve sargılama etkisiyle basınç dayanımının artırılması mümkündür.

Bu malzemeler arasında en yaygın olarak kullanılanlar karbon lif takviyeli (CFRP) ve cam lif takviyeli (GFRP) kompozitlerdir. Farklı durumlar için, farklı mekanik özelliklere sahip olan bu malzemelerden birinin kullanımı diğerlerine göre daha uygun olabilmektedir. Bu malzemelerin kullanımı ile yapı elemanının yük taşıma kapasitesinin geri kazanılması veya artırılması amaçlandığı için uygulama bir onarımdan çok güçlendirme işlemidir. karbonfiber (karbon lifi) adıyla tanınan bu malzemeler hafif, yüksek mukavemetli , liflerin dizilim yönleri değiştirilerek mukavemeti ayarlanabilen, beton ve çeliğin giremeyeceği yerlere girebilen, ince , uygulaması hızlı ve pratik, korozyona dayanıklı, uzun ömürlü yeni nesil malzemelerdir. Amerika, Avrupa ve Japonyada ilk olarak havacılık otomotiv ve denizcilik sektöründe kullanılan 1990lardan sonra yaygın olarak (bilhassa karayolu köprülerinde) kullanılmaya başlanmıştır.. Beton ve çeliğe göre biraz pahalıdır ama bir otelde,devremülkte, restoranda, turistik ve tarihi eserlerde yani kullanımında daralma olması istenmeyen, çirkin ve kaba görüntülere müsaade edilemeyecek yerlerde bu malzemeler kullanılabilir.

Güçlendirmenin maliyetleri hesaplanırken kullanımın kısıtlanması, estetiğin bozulması, bakım masrafları ,uzun ömürlü olup olmadığı muhakkak hesaba katılmalıdır.

FRP malzemeleri karbon,aramid,kevlar ve cam olmak üzere 4 gruba ayrılırlar.Bu malzemeler çok düşük ağırlıklarına rağmen çok yüksek mukavemetlere, anti korozyon özelliklere , yüksek mekanik ve fiziksel değerlere sahiptirler.

FRP kompozit malzemeler tek yönlü plakalar,kumaşlar,çubuklar ve çift yönlü örtüler olarak üretilmektedir.

Epoksi, fiber matriksinden oluşan CFRP plakalar (Karbon Fiberle Güçlendirilmiş Polymerler) çelik plakaları her türlü fiziki değerlerde geride bırakmaktadır. Düşük sünme ve uzama gösterir ve çeliğe kıyasla ince,hafif ve çekme dayanımı 5-10 kat daha fazladır.

Kompozit güçlendirme sistemi betonarme elemanlara dıştan uygulanan bir güçlendirme sistemidir.

Harici yapıştırılmalı kompozit sistemler , yapı elemanlarının yük taşıma kapasitesini ve eğilme dayanımını artırır.Yükler epoksi reçine yapıştırıcısı vasıtasıyla kompozite aktarılır ,böylelikle üniform bir yük aktarımı sağlanır.

Ülkemizde 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Yönetmeliği'nin (TDY07) 7' nci bölümünde konuya ilişkin hükümler yer almaktadır. Bu çalışma, sabit eksenel yük ve artan tersinir yanal yerdeğiştirme istemleri altında ODTÜ'de test edilmiş toplam 10 adet ve literatürden derlenen 18 adet kolon deneyi sonuçları ışığında TDY07'nin tasarım yaklaşımının irdelenmesini amaçlamaktadır. Yapılan incelemeler

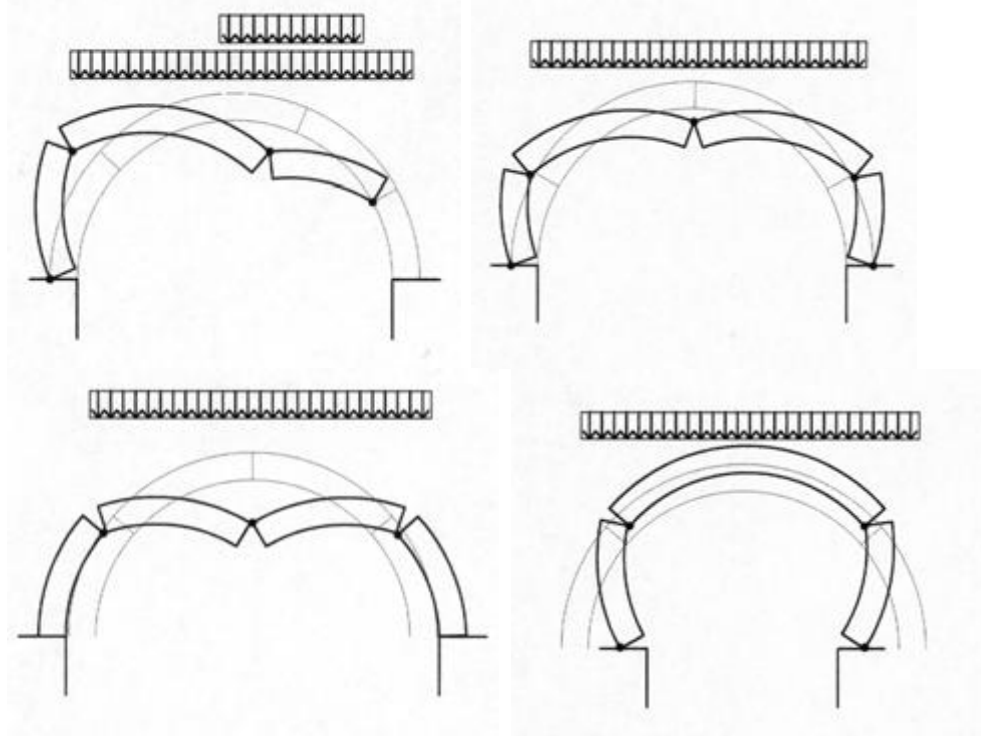
sonrasında, TDY07'de yer alan LP sargılanmış kolon performans limitlerinin oldukça güvenli tarafta kaldığı tespit edilmiştir.

Lifli polimer (LP) malzemelerin betonarme kolonlarda güçlendirme ve onarım amaçlı kullanımını son yıllarda oldukça yaygınlaşmış olup bu yöntemin binalarda ve köprü ayaklarında kullanılabilecek pratik bir yöntem olduğu birçok araştırmacı tarafından gösterilmiştir [1-10]. Deprem etkisi altındaki kolonlarda LP sargılama, kolon yanal rijitlik ve yanal yük kapasitesinde fazla bir artış olmadan yer değiştirme istemlerini karşılayabilme

imkanı verebilmektedir. Bu nedenle, ülkemizdeki sargı yetersizliğine sahip betonarme kolonların plastik mafsallık bölgelerinin güçlendirilmesinde LP sargılamasının kullanılabilir olduğu oldukça etkin bir yöntem olabileceği açıktır. Sismik performans açısından yetersiz binalarda genellikle toptan güçlendirme metotları uygulanmakla birlikte, LP sargılama metodu ile sargı yetersizliği bulunan kolonların deformasyon kapasitelerinin artırılması bir o kadar ekonomik ve kolay uygulanabilen alternatif bir güçlendirme yöntemidir.

Bu amaçla, 2007 yılında yürürlüğe giren TDY07'nin [11] 7E.3 başlığı altında kolonların sünekliğinin artırılması için LP tasarım metodu sunulmuştur. LP sargılama ile ulaşılabilecek en büyük beton birim kısalma değerinin sağlanan yanal basınçla orantılı olarak artacağı öngörülmüştür.

Tarihi binaların klasik mimarisinde yer alan kemer, tonoz vb. elemanların FRP malzemelerle güçlendirilmesiyle ilgili sayısız deneysel çalışma ve bunların çeşitli uygulamaları mevcuttur.





Bunun haricinde taşıyıcı duvarlarda karbon elyafı plaka ve dokumaların yüksek dayanımlarından yararlanarak taşıyıcı dış duvarlarda güçlendirme sağlanmaktadır.



Dış cephe görünümünün bozulmasının istenmediği durumlarda sadece içeriden yapılan karbon elyaf uygulamalarında fiber ankrajlar da kullanılarak bu kompozit malzemelerin duvarlarla birlikte çalışması sağlanabilmektedir. Bu tip uygulamalarda genellikle amaç yapının deprem esnasında komple göçmesini engellemek ve can güvenliğini sağlamak olarak düşünülmektedir. Özellikle bir sarma uygulaması yapılabildiği takdirde yapının yük taşıma kapasitesinde ciddi artışlar elde edilebilmektedir.



CFRP uygulama Alanları

FRP kompozit teknolojisi sismik güçlendirme, kullanım değişikliği, yapıların yeni yönetmeliklere uygun hale getirilmesi, tasarım ve işçilik hataları, ilave servis yükleri gibi nedenlerle kirişlerin, döşemelerin, duvarların, kolonların, bacaların, siloların, tünellerin, boruların, tankların ve diğer elemanların güçlendirilmesinde kullanılır.



FRP kumaşlar tek yönlü veya iki yönlü %100 karbon liflerden oluşur. Kiriş, baca, silo, tünel, boru ve duvar gibi yapı elemanlarının harici güçlendirme donatısıdır. Özellikle komplike şekilli yapı elemanlarının güçlendirilmesi için eşsiz bir çözüm sağlar.

Betonarme, yığma veya ahşap yapıların eğilme ve kayma dayanımını arttırmak için aşağıdaki durumlarda kullanılır:

Yükleme kapasitesinin artışında,
Yapı kullanım amacının değiştirilmesinde,
Yapısal hasarların tamirinde,
Deprem sonucu oluşabilecek hasarların önlenmesinde,
Standart ve şartnamelerdeki değişikliklere göre yapıların takviyesinde kullanılmaktadır.
Yük artışı :

Ambar ve depolardaki hareketli yüklerin artması,
Köprülerdeki trafik yükünün artması,
Endüstriyel yapılarda ağır makinelerin montajı,
Vibrasyonlu yapılar,

Yapı kullanım amacının değiştirilmesi,

Yapı elemanlarının zarar görmesi :
Yapı elemanlarının yaşlanması,
Donatı korozyonu,

- Yapılması istenen değişiklikler :
- Deformasyonların azaltılması,
- Çelik donatıdaki gerilmelerin azaltılması,

Yapısal sistemdeki değişiklikler :

- Perde ve kolonların kaldırılması,
- Döşemelerde boşluk açılması,

Dizayn veya imalat hataları :

- Yetersiz donatı,
- Kesitteki yetersiz faydalı yükseklik

CFRP Avantajları
Tasarsım kolaylığı
Farklı fiziksel değerler için farklı kompozit malzeme kullanma imkanı
Anti koroziflerdir
Yapılarda kullanım altında uygulama imkanı

Uygulama ve kullanım kolaylığı
Maliyeti yüksek makine ve ekipman gerekmez
Her çeşit yapı elemanı güçlendirilmesinde kullanılır
Bakım gerektirmez
Kullanılan bütün bileşenlerin önceden kalite kontrolü yapılmıştır.

Eğilme dayanımını artırır
Durabiliteyi geliştirir
Dinamik yükten gelen malzeme yorulması direncini güçlendirir
Sehimi azaltır
Ölü yükü arttırmaz, elemanın geometrisini değiştirmez
Esneklik, çeşitli formlara adapte edilebilir
Kolonlarda : Kesme,kayma,eğilme dayanımını ve darbe direncini artırır,uzun süreli yük taşıma özelliğini pekiştirir.
Kirişlerde : Eğilme ve kesme dayanımını artırır.
Bacalarda : Rüzgar yüküne karşı direnci ve eğilme dayanımını artırır.
Silolarda : Dairesel çevre gerilme dayanımını artırır ve çatlak oluşumunu azaltır.
Borularda : Geniş çaplı boruların basınç kapasitesini artırır.
Tünelde: Yanal hareketlere,eğilme ve basınca karşı dayanımı artırır.
Duvarlarda : Darbe direncini artırır,patlamalara karşı koruma sağlar.
Eğilme veya kayma donatısı olarak çok amaçlı kullanılabilir,
 Tikotropik, solventsiz doyum reçinesinin kolaylıkla kullanılabilir,
 Üst üste dokuma uygulamasında bile ince kaplama kalınlığı (eğilme bölgesi takviyesinde 3 kata kadar uygulama yapılabilir),

Eksiz olarak her uzunlukta imalat yapılabilir.
İnce et kalınlığı bulunur.
Çok yüksek dayanım,

CFRP Teknik Özellikleri:

FRP (Lif Takviyeli Polimerler)

Uzun yıllar uçak ve otomobil üretiminde kullanılan fiber takviyeli polimerler (FRP) son yıllarda yapı elemanlarının güçlendirilmesinde de kullanılmak üzere araştırma konusu olmuştur. Çeşitli geometrik özelliklerde bulunan FRP 'ler, deprem güçlendirilmesinde genellikle kullanıma hazır karbon fiber takviyeli polimer örtüler halinde kullanılır. Duvar kağıdını veya kumaşı andıran elyaflar genellikle 0,30-0,60 metre eninde rulolar halinde satılır. Yapı elemanları üzerine reçine sistemi ile uygulanan FRP çok yüksek çekme dayanımına sahiptir. Yalnız bu dayanım, malzemenin uygulanış şekli ve işçilik kalitesi ile değişebilir. Bu nedenle çok dikkatli olmak gerekir. Sonuçta ortaya çıkan kompozit malzemenin özellikleri kullanılan elyaf miktarı ile yakından ilgilidir. Örneğin, bol reçineli bir uygulama, karbon elyafın elastisite modülü ve dayanımı ne denli yüksek olursa olsun, ortaya çıkan kompozit malzemenin elastisite modülünü ve dayanımını büyük ölçüde düşürür.

Öte yandan, kullanılması öngörülen özel çelik rulolar ile reçine fazlası alınan uygulamalarda elastisite modülü ve çekme dayanımı önemli ölçülerde artar. Bu değişimlerden dolayı, her uygulama için çekme deneyi yapmak ve malzeme özelliklerini deneysel olarak belirlemek gerekebilir.

Uygulamada ilk olarak onarıma hazır hale getirilmiş beton yüzeyine aderansı arttırmak üzere epoksi esaslı bir astar tabakası fırça ile sürülerek uygulanır. Bu tabakanın üzerine yüzeyi tesviye etmek ve küçük boşlukları doldurmak için yine epoksi esaslı macun, mala ile uygulanır.

UV dayanıklı bir boya ile yüzey sonlandırılır.

Karbon Lifli Dokuma Özellikleri

Lif tipi Yüksek dayanımlı karbon lifleri Lif doğrultusu 0 oC (tek yönlü). Dokuma, ipliklerin gevşemesini önleyen özel örgü lifleriyle donatılmıştır.

Dokuma ağırlığı : 225 g/m²

Dokuma tasarım kalınlığı: 0,13 mm (karbon liflerin toplam alanı esas alınarak)

Liflerin çekme dayanımı : 3500 N/mm²

Liflerin çekme E-modülü : 230000 N/mm²

Kopmadaki uzama : % 1,5

Dokuma uzunluğu / rulo : 50 m

Dokuma genişliği : 30 / 60 cm

Raf ömrü : Sınırsız

Mekanik değerler liflerin yönü doğrultusundaki değerlerdir.

Karbon lifleriyle güçlendirilmiş polimer şeritler elastisite modüllerine göre başlıca 3 türe ayrılır.

Bunlar S, M, H tipleridir. S tiplerinin ortalama Elastisite Modülü > 165.000 N/mm² dir.

M tiplerinde bu değer > 210.000 N/mm² dir.H tiplerinde Elastisite Modülü ise >300.000 N/mm²

dir. S tipi polimer şeritlerle ilgili sınıflandırma Tablo 3.4 de, M tipi için sınıflandırma Tablo 3.5

de, H tipi için ise Tablo 3.6 de sunulmaktadır.

Tablo 3.4 S Tipi Karbon Şeritlerin En kesit Özellikleri

TİP	Genişlik mm	Kalınlık mm	Kesit Alanı mm ²
S 512	50	1.2	60
S 612	60	1.2	72
S 812	80	1.2	96
S 1012	100	1.2	120
S 1212	120	1.2	144
S 1512	150	1.2	180
S 614	60	1.4	84
S 914	90	1.4	126
S 1214	120	1.4	168

Tablo 3.5 M Tipi Karbon Şeritlerin En kesit Özellikleri

Tip	Genişlik mm	Kalınlık mm	Kesit Alanı mm ²
M 614	60	1.4	84
M 914	90	1.4	126
M 1214	120	1.4	168

Tablo 3.6 H Tipi Karbon Şeritlerin En kesit Özellikleri
Karbon lifleriyle güçlendirilmiş polimer şeritlerin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.7
Tip

Tip	Genişlik mm	Kalınlık mm	Kesit Alanı mm ²
H 514	50	1.4	70

veTablo 3.8 de verilmektedir.

Tablo 3.8 Karbon Şeritlerin Özellikleri

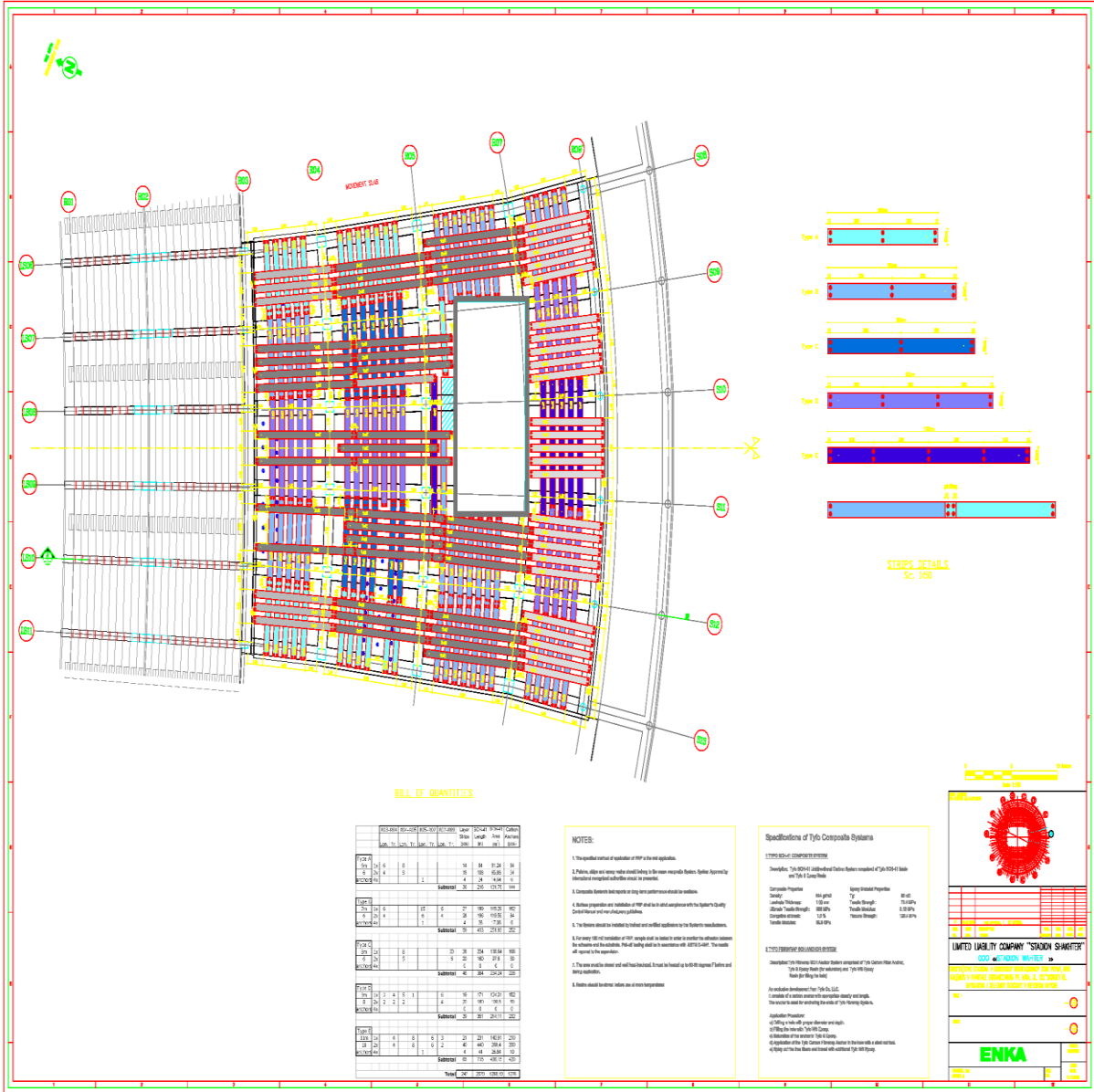
	H Tipi	S Tipi	M Tipi
Elastisite Modülü	165.000 N/mm ²	2 10.000 N/mm ²	3 00.000 N/mm ²
Çekme Gerilmesi	2.800 N/mm ²	2.400 N/mm ²	1.300 N/mm ²
KopmadakiOrtalama Çekme Gerilmesi	3.050 N/mm ²	2.900 N/mm ²	1.450 N/mm ²
Kopmadaki Uzama	% 1.7	% 1.2	% 1.45
Yoğunluk	1,5 gr/cm ³	1,6 gr/cm ³	1,6 gr/cm ³

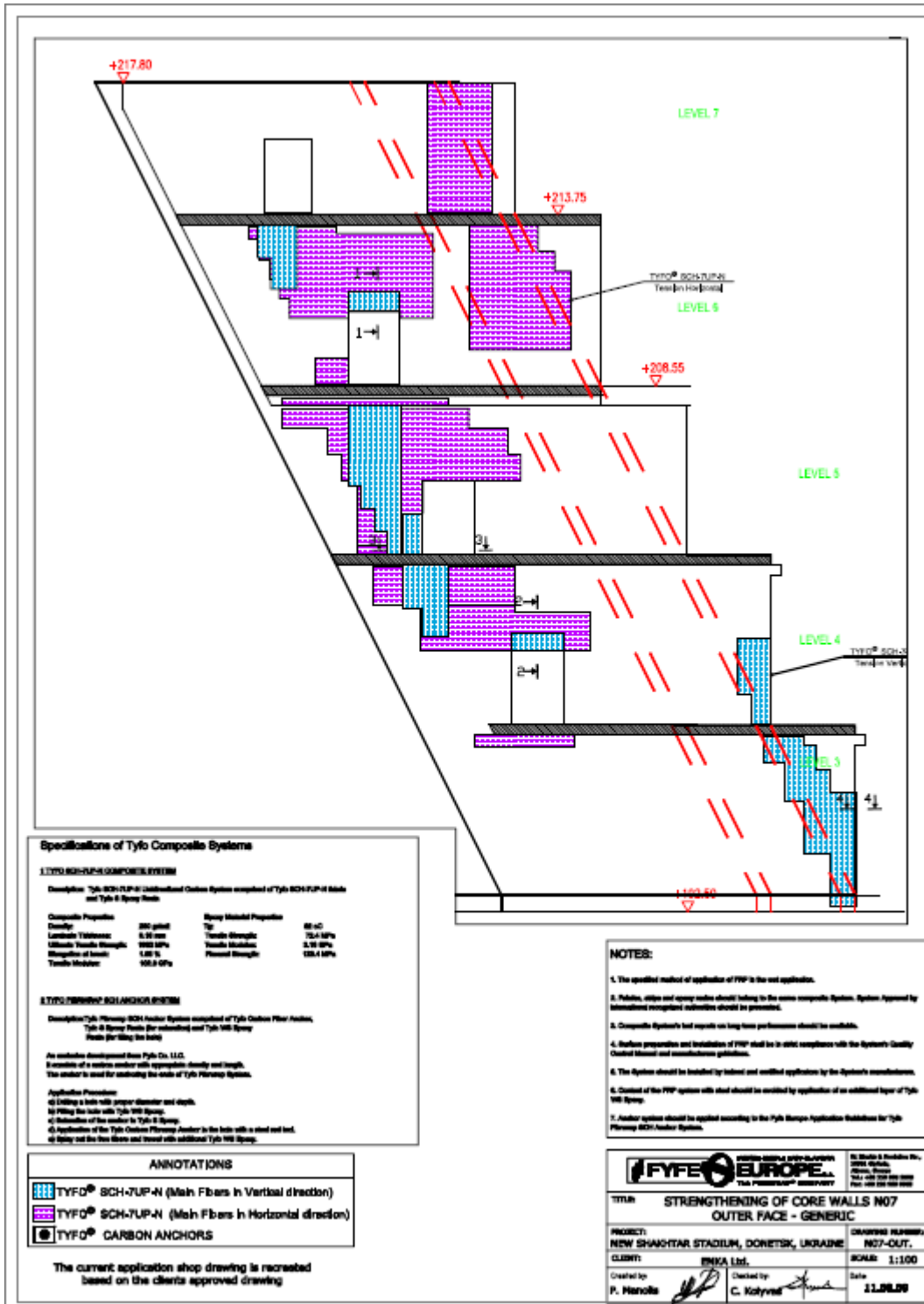
Bazı Örnekler:

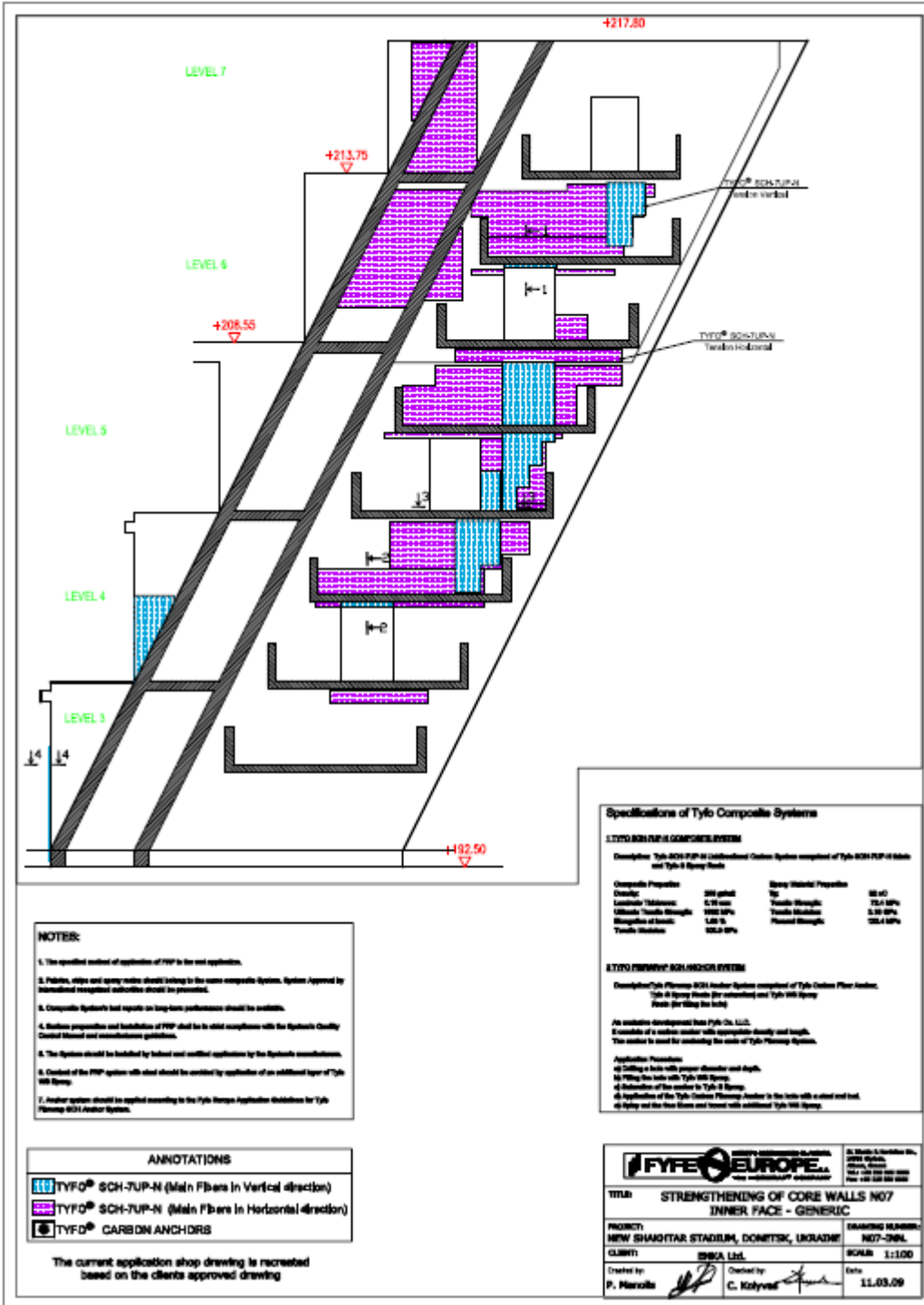
SHAKTAR DONETSK STADYUMU GÜÇLENDİRMESİ, UKRAYNA

Ukrayna milli liginin gözde takımlarından Shaktar Donetsk için inşa edilen ve aynı adı taşıyan stadyum, Ağustos 2009'da hizmete açılmıştır. Stadyum 50,150 kişi kapasitelidir ve UEFA tarafından 5 yıldız ile ödüllendirilmiştir (bkz. Şekil 1). Stadyumun taşıyıcı sisteminde, çatı ve tribün yükleri 24 adet merdiven kovası vasıtası ve bunların çevresindeki yapısal perde duvarlar ile taşınmakta ve temellere aktarılmaktadır (bkz. Şekil 2).





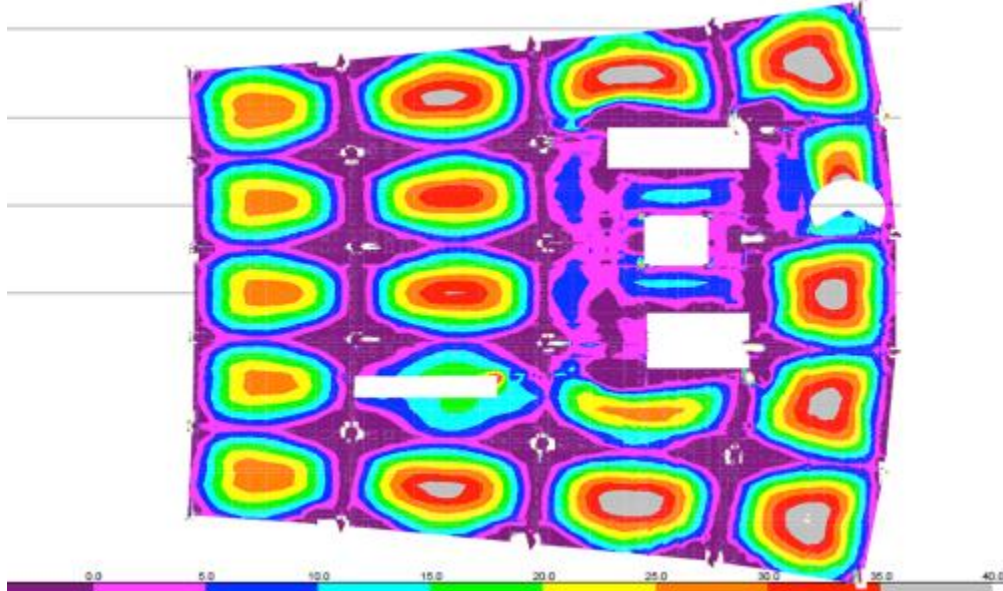




Şekil 2. Stadyum taşıyıcı sistem merdiven kovalarından birine ve çevresine ait kalıp planı (üstte) ve merdiven kovalarındaki taşıyıcı perdelerle ait boykesitler (altta). Burada LP güçlendirmeleri de çizimlere işlenmiştir.

Lokasyon olarak eski ve artık kullanılmayan maden ocaklarının bulunduğu bölgededir. Bu nedenle yapıda söz konusu eski ocaklardaki çökmelerden kaynaklanan düşey deplasmanlar beklenmektedir. Düşey deplasmanlar sırasında bazı döşemelerin üst donatılarının ve perdelerde ise basınç ve çekme bölgelerindeki donatıların yeterli olmayacağı işin sahibi ve müşaviri tarafından iddia edilmiştir. Bunun üzerine hem kritik tabliyeleri hem de perdeleri güçlendirmek için çeşitli alternatifler üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

İlk olarak iddia edilen ilave yüklerin yapıya uygulanması ise özellikle döşemelerde, daha sonra da taşıyıcı merdiven kovalarında olması muhtemel yük ve gerilme dağılımları incelenmiştir (örnek bir pozitif moment dağılımı plan çıktısı için bkz. Şekil 3). İlave yükler nedeni ile döşeme ve merdiven kovası perdelerinde meydana gelen dayanım eksikliğinin giderilmesi için uygulanması muhtemel yöntemlerin birisi çelik plakalar, diğer ise LP uygulamasıdır. Ancak çelik plakalar ile yapılacak uygulama tercih edilmemiştir. Bunun birkaç sebebi vardır. Bu sebeplerden biri uygulama zorluğu, diğeri çelik ile beton arasındaki bağ konusunun belirsizliği, bir diğer konu yapıda yaratılacak görüntü kirliliği ve sistem profilindeki değişiklikler, ve son olarak da sürenin uzunluğudur. Bu sebeple LP en uygun çözüm olarak seçilmiştir.



Şekil 3. Örnek bir planda pozitif moment dağılım grafiği

LP çözümü, döşeme pozitif ve negatif bölgeleri ile taşıyıcı merdiven kovası perdelerinde LP kumaş uygulaması şeklinde yapılmıştır. Uygulamada, özellikle kumaşın epoksi reçinesi ile doygunluğunun garanti edilebilmesi için ıslak uygulama gerçekleştirilmiştir. Islak uygulamada yüzey hazırlığı yapılan eleman yüzeyine önce epoksi reçinesi ile astar geçilir, daha sonra tamamen reçine ile doyurulan kumaş (bu konudaki detaylar için bkz. Bal, 2011) yüzeye elle uygulanır.

Yapılan güçlendirmede döşemelerde LP kumaşlar şeritler halinde uygulanmıştır (Şekil 4). Burada uygulamadaki şerit genişliği, şeritler arasındaki mesafeler ve şerit uçlarında bırakılması zorunlu olan ankrajlanma boyu tasarımcı tarafından tarif edilmiştir. Şerit şeklinde uygulanan ve moment taşınması beklenen gerek laminatlar ve gerekse kumaşlarda, uygulamanın, uygulama yapılması zorunlu alanın da bir miktar (tercihen 20-30cm kadar) taşarak buradan ankrajlanması ve yük aktarımının sağlanması beklenmektedir. Eğer bu yapılamıyorsa, şeridin bittiği yerde ankraj uygulaması (bkz. Şekil 6) yapılması zaruridir. Islak LP uygulaması yapılmadan önce tüm yüzeylerde yüzey hazırlığı yapılmıştır. Bunun için kullanılan yöntem taşlamadır. Daha sonra yüzeydeki toz ve diğer yabancı maddeler hava pompası veya vakum ile temizlenmiştir (bkz. Şekil 5). Yapılan yüzey hazırlığı için kullanılan standart ICRI (International Concrete Repair Institute) tarafından yayınlanan yönerge (ICRI, 2002).

Türkiye ve Çevresindeki Önemli LP Uygulamaları



LP ile yapılan güçlendirmelerden örnekler: döşeme negatif moment bölgesinde uygulama (a) ve (b), taşıyıcı merdiven kovalarında perde etrafında güçlendirmeler



Şekil 5. Döşeme negatif moment bölgesinde yapılan uygulama için yüzey temizliği



Şekil 6. Eğilmeye karşı yapılan LP uygulamasında ankrajların uç bölgede teşkili

Projede Kalite Kontrolü:

Gerek projenin büyüklüğü ve önemi, gerekse arazideki hava şartları, uygulamanın sürekli olarak kontrol altında tutulmasını gerekli kılmıştır. Soğuk hava ve nem şartlarından dolayı naylon örtüler ile odalar yaratılmış ve ısıtıcılar kullanılarak bu odalardaki sıcaklık, LP uygun uygulama sıcaklığı aralığında tutulmuştur. Ayrıca nemden dolayı olması muhtemel çiylenmenin önüne geçmek için hava sıcaklığı, yüzey sıcaklığı ve çiy noktası sürekli olarak ölçülmüştür (Şekil 7). Bu konudaki detaylar için bkz. Bal (2011).

Şekil



şekil 7. Ortam sıcaklığı ve bağıl nem oranı ile çiy noktasının ale tile tayini

ENDÜSTRİYEL YAPI UYGULAMALARI

LP sistemlerinin en etkin uygulama alanlarından biri de endüstri yapılarıdır. Karadeniz Bölgesi'nde bulunan bir fındık fabrikasında kış aylarında aşırı kar yağışı sonucu, prefabrik kirişlerde çatlaklar meydana gelmiştir. Gerek fabrika çatısı altında bulunan insanların yaşamını ve gerekse makina ve teçhizatı tehdit eder duruma gelen bu çatlakların giderilmesi için seçilecek yöntemin üretimi aksatmayacak şekilde sahada en az izi bırakması (iskele, kalıp v.s. işlerinin minimum olması, mümkünse hiç olmaması), mümkün olan en kısa zamanda tamamlanması ve priz alması, birkaç saatlik periyotlar şeklinde yapılabilir olması, son olarak da çatı kaplamasının (kiriş üst kotu ile çatı kaplaması arasında, aşık kalınlığı olan 10 cm civarında bir boşluk mevcuttur) kaldırılmasına gerek kalmaması istenmiştir.



Şekil 8. Kirişlerde yapılan LP uygulamasından örnek resimler

Yapılan LP uygulamasında gece ve hafta sonları çalışılmış, aşağıda üretim yapılırken sepetli bir vinç yardımı ile yukarıdaki kirişlere kadar kaldırılan personelin LP uygulamasını aynı anda yapması mümkün olmuştur.

Kirişlerde yapılan bu uygulamayı ilerleyen tarihlerde kiriş-kiriş ve kiriş-kolon birleşim bölgelerinde de devam edilecektir.

YIĞMA YAPI UYGULAMALARI

Yığma yapılar, LP uygulaması açısından iki kategoride değerlendirilir. Birinci kategoride tarihi özelliği bulunmayan yığma yapılar vardır. İkinci kategoride ise tarihi eser konumundaki yığma yapılar bulunmaktadır. LP uygulamasının epoksi reçinesi kullanılarak yapılması açısından birinci grup için oldukça kolaydır. Ancak ikinci gruptaki, yani tarihi özelliği olan yapılar için LP uygulamasının yapılmasında, Venedik Konvansiyonu'nda da belirtilen, "geri döndürülebilirlik" kriteri önemli bir noktadır. Yani tarihi yapıda uygulanacak onarım, güçlendirme v.s. faaliyetlerinin geri döndürülebilir olması gerekir. Burada amaç ileride daha ileri bir yöntem bulunduğu bu uygulamayı uygulayabilmek ve eskisini çıkarıp atabilmek olduğu gibi, uygulanan yöntemin mevcut yapı ile uyumsuzluğunun anlaşılması durumunda bu uygulamadan vazgeçilebilmesini sağlamak da olabilir.

Yukarıdaki izah neticesinde, LP uygulamalarının epoksi reçinesi ile yapılanı, özellikle tarihi yapılarda, en az düzeyde tutulmalı, mümkünse hiç uygulanmamalıdır. Bu uygulamanın ancak aciliyet içeren durumlarda ve minimum düzeyde uygulanması en sağlıklı seçim olacaktır. Aşağıda bu tip acil ve minimum uygulamadan bir örnek verilmektedir.

Ankara'da bulunan Cenab-ı Ahmet Paşa Camii, son birkaç on yıldır kullanımda olan yanlış bir drenaj sistemi nedeni ile temelleri altındaki zeminin erozyona uğraması durumu ile karşı karşıya kalmıştır. Bu durum temeller ve üst yapıdaki kuvvet ve gerilme dağılımını da bozmuştur. Ufak bir sarsıntı ile tetiklenen bu mekanizma, caminin giriş-mihrap doğrultusuna dik doğrultuda bir yarısının diğer yarısına göre farklı oturma yapmasına sebebiyet vermiştir (bkz. Şekil 9).

Camide yapılan uygulama, kubbenin sürekli devam eden farklı oturmalardan kaynaklı çatlamasına ve bu çatlakların gün geçtikçe genişlemesine acil bir çözüm bulmak şeklinde gelişmiştir. Bunun için çabuk uygulanabilen, hızlı priz alan ve kubbe kesitinde profili değiştirmeyecek bir çözüme gidilmiştir. Kubbe kasnak hizasından yukarıda, açılan cam boşluklarınının 1.5m üstünde bir yüksekliğe kadar olan bölgede kubbe kemer şeklinde etrafınca sarılmıştır. Geleneksel olarak kubbe kasnağına yerleştirilen çekme elemanlarının da çalışma mantığı esasen aynıdır. Yapılan uygulamanın ardından kubbe örtülmüş ve caminin diğer bölgelerindeki onarım ve güçlendirme çalışmalarına devam edilmiştir.

Tarihi yapıların ve genelde yığma yapıların güçlendirilmesi için kullanılacak LP malzemesinin epoksi ile değil harç ile yapışma sağlaması, gerek harcın ve gerekse kullanılacak liflerin yığma ve bağlayıcı harcı ile kimyasal uyumunun olması, uygulanan güçlendirmenin orijinal yığmaya nazaran çok güçlü olmaması gerekmektedir.

Bu özelliklerin tümünü haiz bir LP güçlendirme malzemesi için çalışmalar OPERHA isimli Avrupa Birliği araştırma projesi ile başlamış ve ortaya RM isimli malzeme çıkmıştır. Bu konudaki detaylı bilgi için bkz. Kolyvas ve Karantzakis (2011).