

FİBER TAKVİYELİ POLİMER UYGULAMALARINDA YAPIŞMA YÜZEYİ KALİTESİNİN KOMPOZİT PERFORMANSINA ETKİSİ

Kemalettin Yılmaz, Mustafa Akçil, Abdullah Çelik

Özet - Oldukça yaygın bir kullanım alanına sahip Fiber Takviyeli Polimer (FRP) kompozit malzemelerin bir kısmı kumaş ve laminat formunda üretilmekte ve mevcut elamanların yüzeyine dıştan yapıştırılarak uygulanmaktadır. FRP malzemesinin, kapladığı malzeme ile bir bütün oluşturup monolitik davranış gösterebilmesi için temas yüzeyinde iyi bir aderansın olması gerekir. Bunun sağlanıp, mükemmel bir yapışmanın gerçekleşmesi, öncelikle yüzey kalitesinin yeterli nitelikte olmasına bağlıdır. Bu nedenle yüzeyin hazırlanması, uygulamanın en önemli aşaması olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada, FRP kompozitin performansını etkin kılabilmek için uygulamaya yönelik yüzey hazırlama ve kaplama biçimlerine ait prensipler açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler - Fiber Takviyeli Polimer, FRP, yapışma yüzeyi kalitesi, kompozit performansı, aderans.

Abstract - Fiber Reinforced Polimer (FRP) commonly used in different fields is produced in the form of fabric and laminate and applicated by externally bonding to the surface of structural members. There must be excellent adherence between FRP and wrapped material interface to display composite and monolitik behaviour. To make this possible and obtain perfect bonding is firstly related to sufficient surface quality. Therefore, surface treatment is the most important step of application. In this study, the principles which contain surface preparing for application and wrapping methods to make effective the FRP composite performance, were declared.

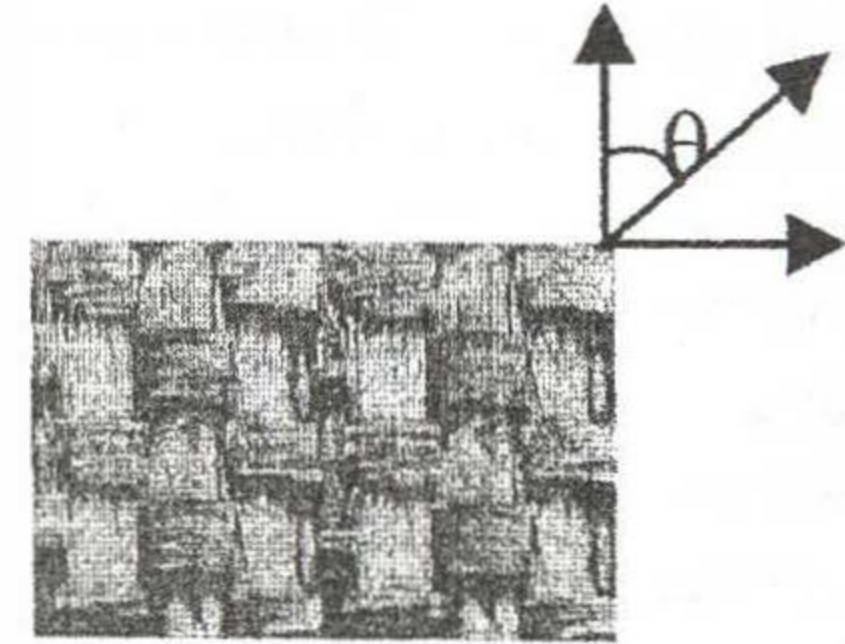
Keywords - Fiber Reinforced Polimer (FRP), bonding surface quality, composite performance, adherence .

K.Yılmaz, M. Akçil; Sakarya Üniversitesi Öğretim. Üyesi, SMYO, Adapazarı
A. Çelik ;Sakarya Üniversitesi, Doktora Öğrencisi, Adapazarı

I.GİRİŞ

Kompozitler, birbirleri ile uyum sağlayacak ara yüzeylere sahip iki veya daha fazla farklı malzemenin bir araya getirilmesinden elde edilen ve gelişmiş yeni özelliklere sahip bir malzeme sistemidir[1]. Bu malzemeler içerisinde fiber takviyeli polimerler (Fiber Reinforced Polimer, FRP), son yıllarda geliştirilmiş özellikleri sayesinde oldukça geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Günümüzde inşaat, otomotiv, denizcilik, uzay ve havacılık sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fiberler yalnız halleriyle içinde bulunduğu matrisle kıyasla daha fazla yük taşırlar. Çünkü, matrisle etkileşimine bağlı olarak tekrar fiberin matrisle olan etkileşimine bağlı olarak dağılır. Gerilmeler matris içerisinde ne kadar iyi dağılsa da kompozitin performansı, bileşenlerinin yapısına ve yapışma gücüne bağlıdır. FRP ler, yapılacak uygulamaların durumuna göre kimyasal ve fiziksel işlemlere tabi tutulurlar. Aderans artırıcı yardımcı malzemeler hem fiberle kendisinin oluşturduğu FRP, hem de FRP ile güçlendirilecek yapı arasında kullanılır. Kompozitlerin performansları üretilme gayesine göre değişir. Yükleme şekilleri ve fiberin birlikte çalıştığı matrisle aralarındaki etkileşimin dışında kompozitin çalışmasını etkileyen ana faktörler şunlardır;

- Fiber doğrultusu, sürekliliği, şekli ve kompozisyonu
- Reçinelerin mekanik özellikleri
- Temas yüzeylerindeki aderans ve yapışma kuvveti

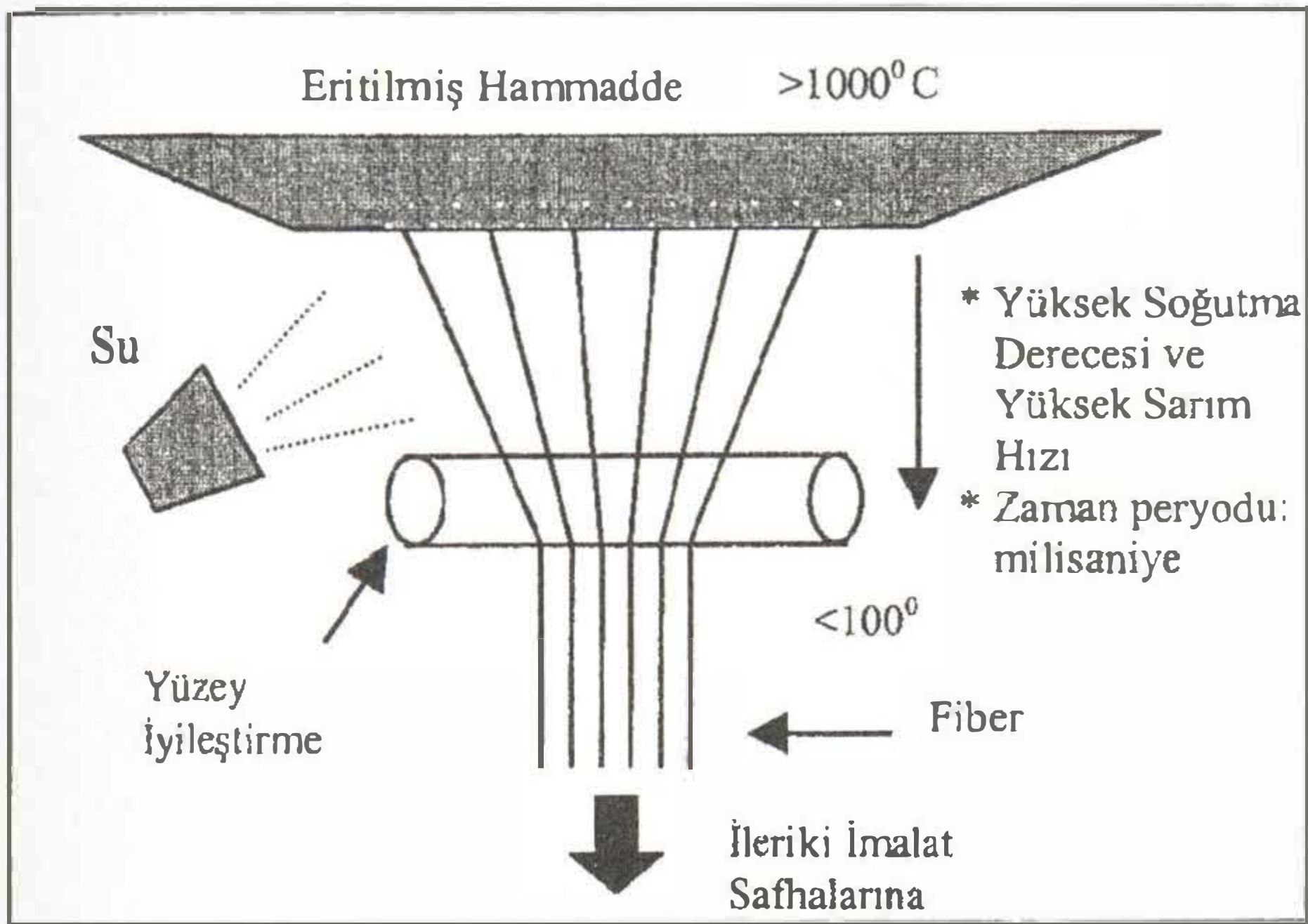


Şekil 1. Çift yönlü dokunmuş fiberler.

Tek yönlü fiberler anizotropiktir. Fiberler maksimum dayanımını lif doğrultusunda gösterirler. Şekil 1.de görüldüğü gibi çift doğrultuda düzlem şeklindeki fiberler her açıda farklı dayanıma sahiptir[2].

II. FİBERLERİN ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİ

Yüksek sıcaklıklarda eritilen cam, karbon ve aramid gibi malzemeler, ince (kılcal) delikli bir tanktan aşağı süzülerek akıtılırlar, bu esnada üzerlerine su püskürtülerek aniden soğutulur ve devamlı dönen makaralarla hızla çekilerek sündürülürler, bu gerdirme işlemiyle mikron seviyesinde kalınlıkta fiberler meydana gelir. Bu fiberlerin reçinelerle iyi bir aderans yapması için üzerlerine yüzey iyileştirici (Silane gibi) malzemeler kaplanır [3]. Bu aşamalar Şekil 2.de şematik olarak gösterilmiştir.

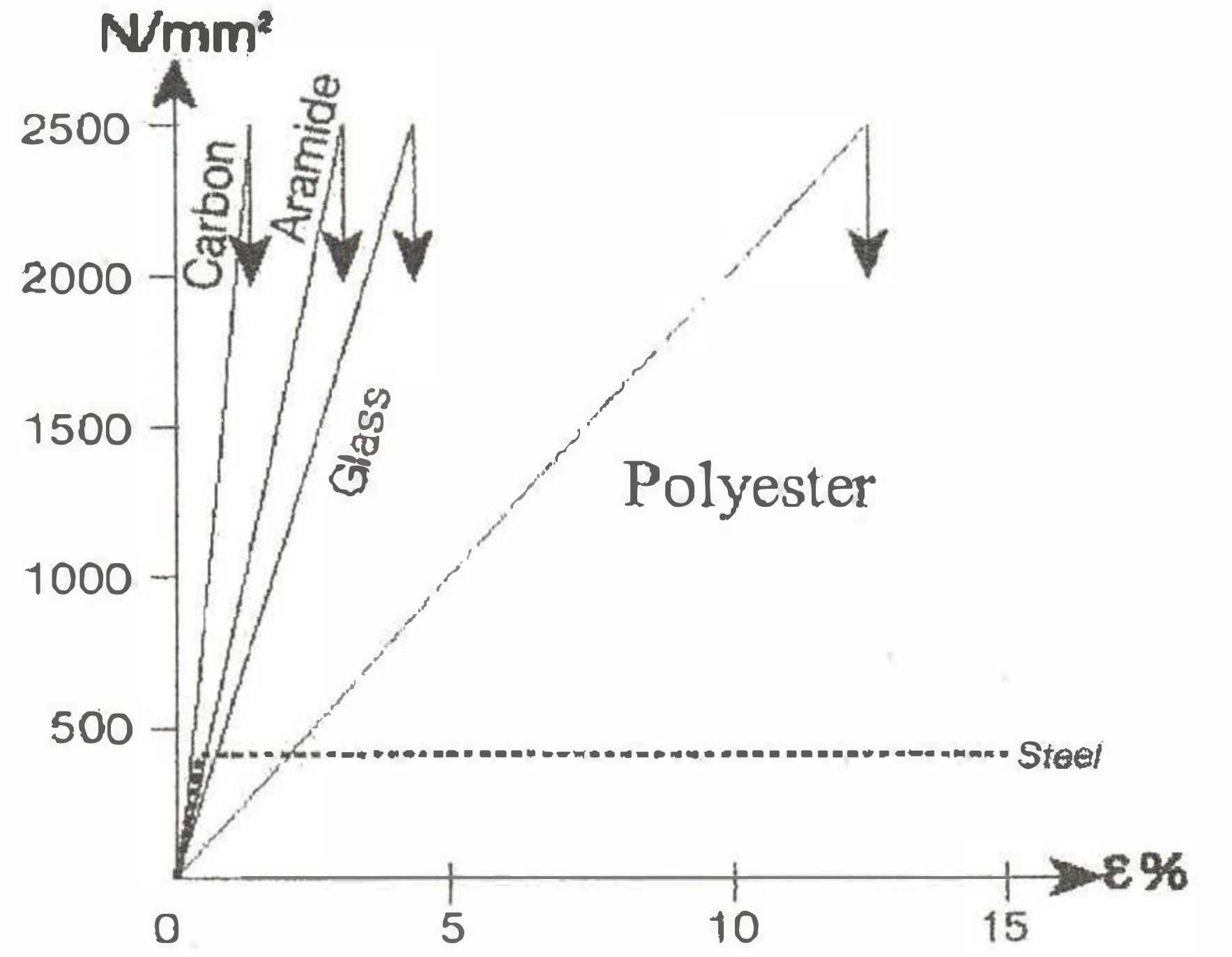


Şekil 2. Fiberlerin üretim aşamaları.

Tablo 1. Fiberlerin mekanik özelliklerinin değişim aralığı[4]

Özellikler	Fiber çeşitleri			
	Aramid	Karbon	Cam	PVA
Elastiklik modülü (Gpa)	62 – 142	290 – 400	72 – 78	8 – 28
Çekme dayanımı (Mpa)	2410 – 3150	2400– 5700	3300– 4500	870 – 1350
Kopma uzaması (%)	1,5 – 4,4	0,3 – 1,8	4,8 – 5,0	9,0 – 17,0

Tablo 1.de görüldüğü gibi elastisite modülü ve çekme dayanımı en yüksek olanı karbon fiberlerdir. Kopma uzaması en fazla olan ise PVA fiberlerdir. Benzer durum Şekil 3.de de görülmektedir.



Şekil 3. Fiberler ve çeliğin gerilme - deformasyon diyagramı.

Üretilen fiberlerin karakteristik gerilme - deformasyon diyagramı ile diğer nitelikleri çelikte birlikte kıyaslamalı olarak Şekil 3.de ve Tablo 1.de gösterilmiştir. Bu diyagramda görüldüğü gibi karbon, aramid ve cam (E-glass) fiberlerin gerilme - deformasyon diyagramı birbirlerine yakın seyredirken polyester fiberlerde sapma daha fazla olmaktadır.

Tablo 2. Çeşitli fiberlerle çeliğin özelliklerinin kıyaslanması [4]

Özellikler	Fiber			Ön Germe Çeliği
	Aramid	Karbon	E-Glass	
Çekme dayanımı	+	++	+	+
Uzun dönem dayanımı	0	+	0	+
Ani yüke dayanımı	++	+	-	+
Farklı doğrultuda dayan.	-	0	-	+
Durabilite				
* Alkalilere karşı	0	+	-	++
* Asidik ortamlara karşı	+	++	+	-
* Karbonatlaşmaya karşı	++	++	++	-
Ağırlık	++	++	+	-

(-) Zayıf, (+) İyi, (++) Mükemmel, (0) Etkisiz.

Fiberler, çelikle karşılaştırıldığında oldukça yüksek bir çekme dayanımına sahip oldukları görülmektedir. Ancak, fiberlerin deformasyon yapma yetenekleri düşük olduğundan gevrek davranış gösterirler. Tablo 2.de verilen karşılaştırmada fiberlerin genelde hafiflik ve durabilite yönüyle oldukça iyi olduğu görülmektedir.

III. EPOKSİ REÇİNELERİ

Reçine matrisinin üç ana görevi vardır[4]:

- Fiberleri birbirine bağlar.
- Fiberler arasında yük transferini sağlar .
- Fiberleri çevrenin zararlı etkilerinden ve mekanik hasarlardan korur.

Bu reçineler, havacılık, uzay , savunma ve son dönemlerde beton için (tamir ve güçlendirme maksadıyla) üretilen ilk nesil FRP ürünlerin çoğunda olduğu gibi, ileri teknolojilerde kullanılır. Bu malzemeler spesifik durumlarda faydalı olabilecek net belirlenmiş özelliklere sahiptir. Epoksilerin değişik akışkanlıklarda ve çok sayıda kür yardımcısı veya sertleştiriciyle beraber temini mümkündür. Epoksinin yapısı, kısmen kür edilerek veya genel olarak "prepreg" ismiyle adlandırılan ileri kür sistemleriyle kullanılmasına imkan tanır. Eğer "prepreg" takviye fiberlerini de içeriyorsa meydana gelen yapış yapış haldeki lamine, bir kalıba yerleştirilerek oda sıcaklığında sertleşmesi beklenir.

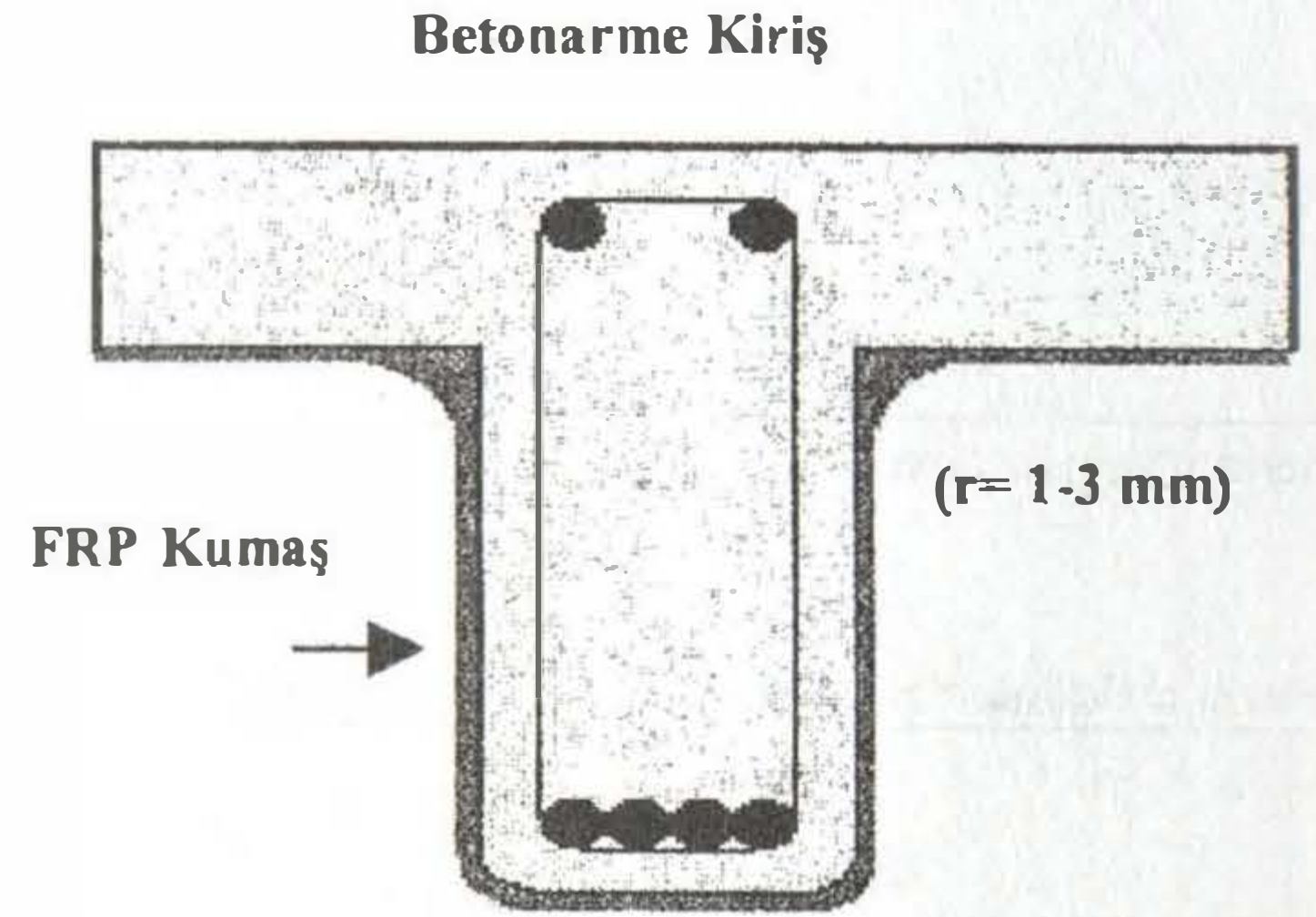
IV. FRP YÜZEY HAZIRLAMA ESASLARI

Yapılan proje sonucu ve uygulanacağı elamanın durumuna da bağlı olarak FRP sistemlerinin hangisinin, ne şekilde kullanılacağına karar verilir. Bu uygulamanın tümünde değişmeyen işlem, epoksinin karıştırılarak uygulanacak yere ve malzeme yüzeyine sürülmesidir. Ortamın sıcaklığı belli bir dereceye ulaşmadan epoksi ile sertleştirici reaksiyona girmezler. Çok sıcak ortamlarda ise reaksiyon hızı artarak kısa sürede kristalleşirler. Betonun standart ortam koşullarında 28 günde tamamladığı kabul edilen dayanımını, epoksiler 7 günde tamamlarlar ve ortam sıcaklığına göre 30 dak. ile 1 saat arasında kristalleşirler. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, reçine ve sertleştirici karıştırıldıktan sonra kristalleşme başlamadan FRP' nin yüzeye yapıştırma işleminin bitirilmesidir. Bu uygulama esnasında gözlerin ve ellerin korunması için gerekli önlemler alınmalıdır.

FRP malzemeler için yüzey hazırlığı uygulamada en önemli aşama olarak kabul edilmektedir[6]. Çünkü, bu malzemeler dıştan uygulandığından temas yüzeyinden

sıyrılma veya beton pas tabakasını alarak ayrılması söz konusu olabilir. Betonarme yapılarda çelik, beton tarafından kuşatıldığından beton içerisinde kalmaktadır, sıyrılma veya betonla farklı hareket etme eğilimi yoktur, monolitik davranış gösterir. Ancak FRP kumaş ve laminatlar yüzeye iyi tutunamadıklarında bu davranış gösteremezler. Kumaşların, laminatlara göre yüzeye daha iyi uyum sağladıklarından yapışma gücünün de daha iyi olduğu görülmüştür. Yüzey hazırlığı için uygulama aşamasında yapılması gereken işlemler sırasıyla şöyledir;

- Hasar görmüş yapı elamanlarının yüzeyleri tamir edilmelidir. İnce çatlaklar epoksi enjeksiyonu ile, kalın çatlaklar ve oyuklar ise epoksi esaslı yüksek mukavemetli tamir harçları ile doldurulmalıdır. Eğer, beton paspayı tabakası korozyon sonucu hasar görmüş veya karbonatlaşmaya uğramış ise bu tabaka tamamen kaldırılıp temizlenmelidir.
- Temas yüzeyindeki yapışmayı engelleyici toz, yağ, kir gibi tabakalar kumlama ve yüksek basınçlı su püskürtme yöntemi ile temizlenmelidir.
- Köşeler ve keskin kenarlar yuvarlatılmalıdır, aksi halde bu bölgeler laminasyonun ve sürekliliğin bozulmasına neden olur. Dış ve iç açılar Şekil 4.de görüldüğü gibi kavislendirilmelidir.



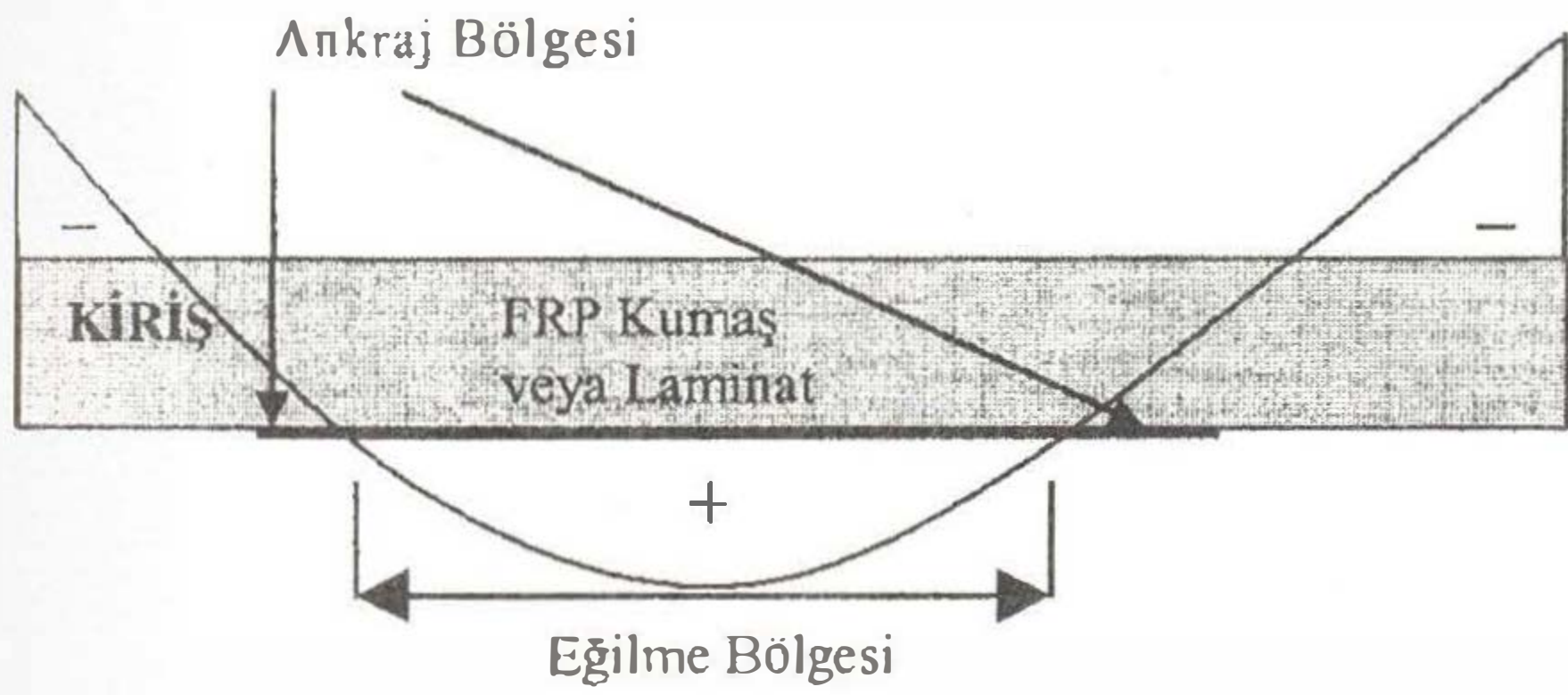
Şekil 4. İç ve dış köşelerin kavislendirilmesi

- Temizlenmiş yüzeye fırça veya rulo ile epoksi astar sürülmelidir. Eğer yüzeyde nem varsa ve giderilemiyorsa neme dayanıklı astar kullanılmalıdır. Astar kuruyunca yüzeydeki hafif girintiler epoksi dolgu malzemeyle doldurulmalıdır.
- Döşeme uygulamalarında laminat şeritlerin arasında kalan boşluklara epoksi sürülmemelidir. Betonun hava alması ve içerisinde nem barındırmaması için buna uyulması gerekir. Bilhassa köprü tabliyelerinin

altlarının tamamen kaplanması, yukarıdan alınan nemin içeride hapsolmesine neden olacağından sakıncalıdır.

V. MALZEMENİN UYGULANMASI

FRP kumaşlar, hazırlanmış yüzeye epoksi sürülerek yapıştırılır. Kumaş ve epoksinin yapıştırıldığı yüzeye arasında hiç hava boşluğu olmamasına özen gösterilmelidir. Yüzey hazırlığı yapılmış bölgeye epoksi sürülürken bir taraftan da FRP kumaş epoksiye doyurulur. Kumaşlarda sıyrılmaya karşı gerekli yerlerde ankraj yapılmalıdır. Yapılan bazı testler kum serpilir, daha sonra üzerine sıva veya koruyucu boya ile kaplanır. sonucu kumaşı, kullanılacak bölgenin en az 10cm dışına taşımanın yeterli olacağı ileri sürülmektedir [7]. Şekil 5.de bu durum gösterilmiştir. FRPler kirişin eğilme bölgesinde boyuna, kesme bölgesinde ise 45° ve 135° açılarda uygulandığında maksimum performans gösterirler. Yine kumaşlarda ek yapılması isteniyorsa en az 10cm bindirme yapılmalıdır. Eğilme bölgelerinde tek ve sürekli parça kullanılmalı, ekleme yapılmamalıdır. Yapıştırma işlemi sona erdikten sonra FRP malzeme üzerine kum serpilir. Daha sonra üzerine sıva veya koruyucu boya kaplanır.



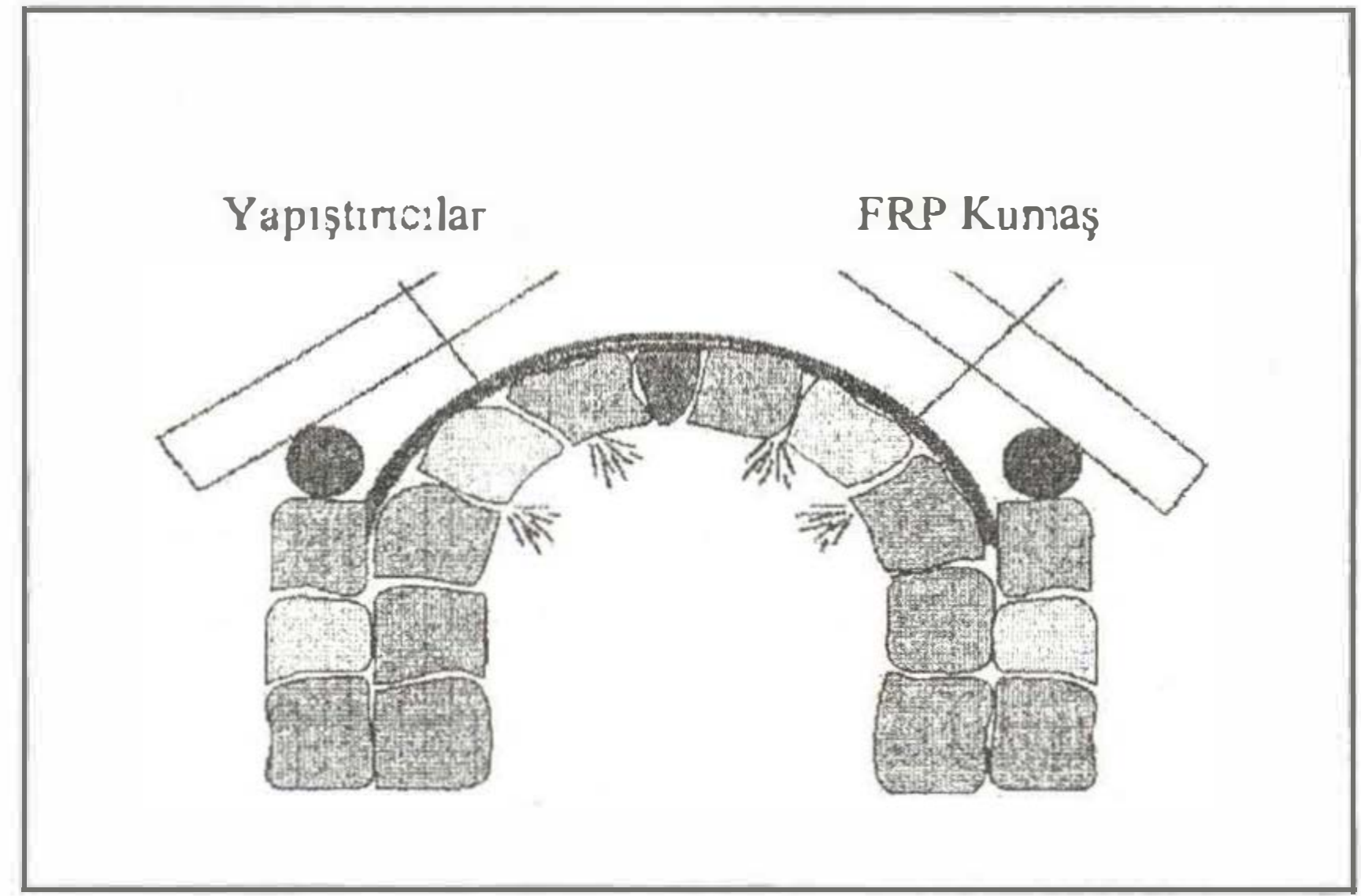
Şekil 5. FRP'nin ankrajlama için eğilme bölgesi dışına taşırılması.

Kolonlarda süneklik, kesme dayanımı, basınç dayanımı ve sismik dayanımın artırılması için kumaşlar enlemesine sarılmalıdır. Yapılan testlerde FRP sarılı kolanların artan sismik ve tekrarlı yüklere karşı, daha fazla deplasman yaparak enerji sönmülendirdiği görülmüştür [8].

Duvarlarda ve yığma yapılarda uygulama, aralarında belli mesafe bırakılan şeritler halinde yapılır. Şerit genişlikleri ve ara mesafeler uygulama yerine göre değişir. Şeritler enine ve boyuna uygulanabileceği gibi çapraz olarak da uygulanabilir.

Döşemelerde genelde eğilmeğe karşı güçlendirme yapılır. Bu nedenle FRP laminat şeritler veya kumaşlar açıklık bölgesinde alttan iki yönlü, mesnet bölgesinde ise üstten yapıştırılarak uygulanır.

Tarihi yapıların kubbelerindeki hasarları gidermek için FRP sistemler dıştan uygulanırlar ve tekrar üzerleri kurşun kaplandığında yapılan güçlendirme belli olmaz ve tarihi doku bozulmamış olur. Şekil 6.da görüldüğü gibi taş kemerlerin üzerinden veya altından FRP uygulaması yapılarak taşların sarsıntı anında birbirlerinden ayrılması engellenir.



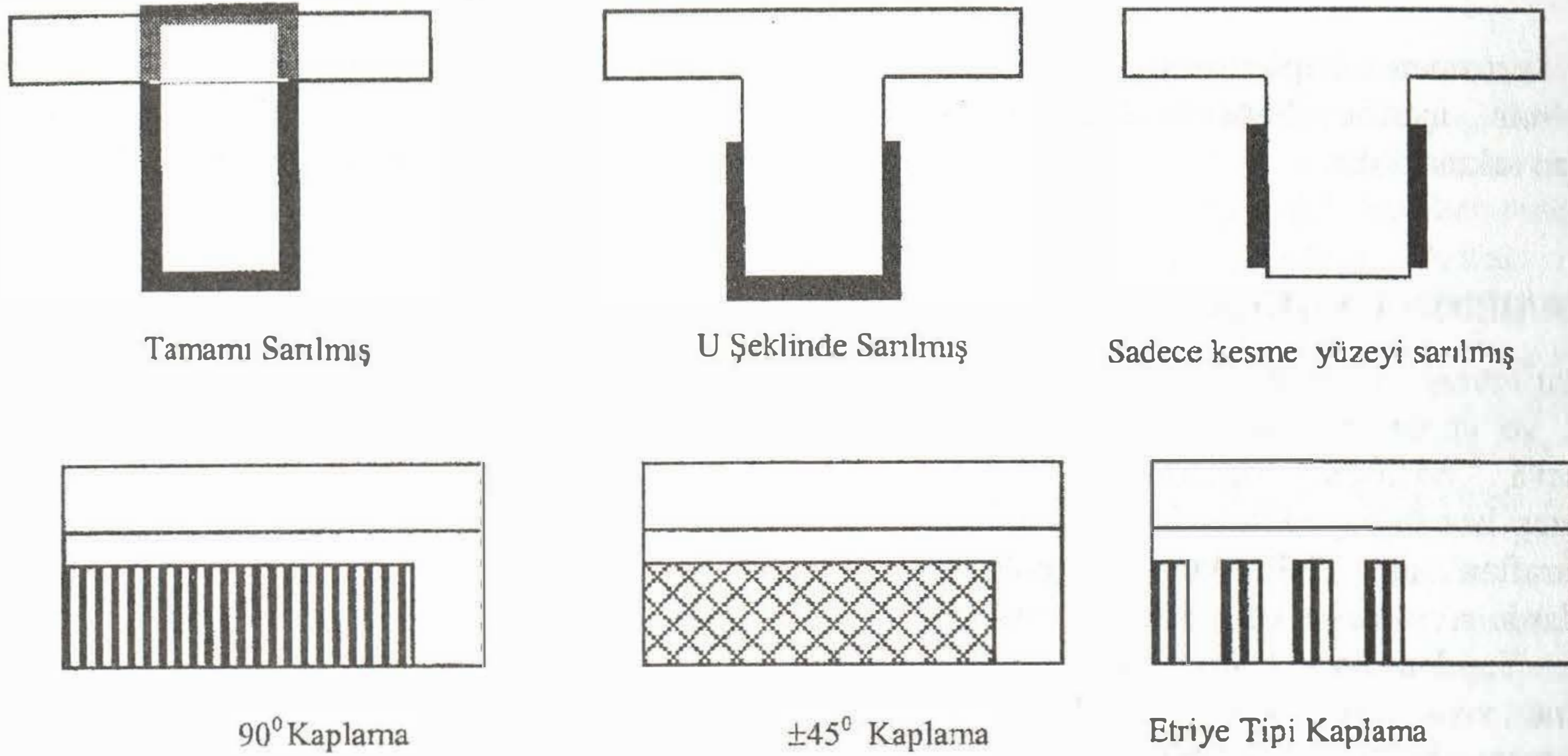
Şekil 6. Taş Yapılarda FRP Uygulaması

FRP laminatlar ise önceden epoksi emdirilerek fırınlanmış, sert levha biçiminde malzemelerdir. Genişlikleri 1-10cm, kalınlıkları 1-1,5mm arasında rulo halinde olup uygulanacağı uzunluklara göre kesilirler. Laminatlar, kumaşlarda olduğu gibi yüzeye epoksi ile yapıştırılır. FRP laminatların eğilmeye karşı değişik bir kullanım şekli de slot (yarık) uygulamasıdır. Güçlendirilmek istenen yüzeyde FRP laminatın gireceği genişlikte bir oyuk açılır, içerisine epoksi doldurulur ve laminat bu oyuğa yerleştirilir. Bu yöntem, anıtsal eserler ve tarihi yapılar için ideal bir sistemdir. Kiriş yüzeylerine fiber kumaş ve laminatların uygulama biçimleri Şekil 7.de gösterilmiştir.

VI. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar özetlenecek olursa şunlar söylenebilir;

- Malzemeyi uygularken dikkat edilecek en önemli husus yüzey hazırlanmasıdır. Aderans ve yük aktarımının sağlanabilmesi için yüzeyin temizliği ve köşelerin kavislendirilmesi en iyi şekilde yapılmalıdır.



Şekil 7. Kiriş kesitindeki fiber yüzey kaplama biçimleri ve yönlerine göre fiber uygulama şekilleri.

- Temas yüzeyindeki yapışma yeterli olduğu takdirde ancak, kapladığı elamanla birlikte hareket etmek suretiyle yeni yük dağılımında kendilerine düşen payı alabilirler.
- Kesme kuvveti, süneklik ve basınç dayanımının yetersiz olduğu yerlerde FRP kumaş ve laminatlar enine sarıldığında daha etkili olurlar.
- Eğilme dayanımının artırılması istenen kiriş ve döşeme gibi elemanlarda boyuna uygulanması etkinlik sağlamaktadır.
- Yapılan işin durumuna ve önemine bağlı olarak FRP kumaşlar farklı kalınlık ve tabaka sayılarında uygulanabileceği gibi yüzeyin tamamı sarılarak veya şerit biçiminde kaplanarak da uygulanabilir.

Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., Adapazarı 2001

[5] Eriç, Murat "Yapı Fiziği ve Malzemesi" İstanbul 1994

[6] Thomas, Jay "Externally Bonded Carbon Fiber For strengthening Concrete" Proceedings, 4th Material Engineering Conference, , DC 1996 pp.924-931

[7] Faza, Salem S. "Fiber Composite Wrap for Rehabilitation of Concrete Structures" Proceedings, 3th Material Engineering Conference, San Diego, 1994 pp.1135-1139

[8] Ehsani M.R., Saadatmanesh H. "Seismic Strengthening of Circular Bridge Pier Models with Fiber Composites" *ACI Structural Journal* 1996, V93, No:6

KAYNAKLAR

- [1] Ehsani, Muhammed R., "Shear and Flexural Strengthening of R/C Beams with Carbon Fiber Sheets" *Journal of Structural Engineering*, June 1997
- [2] ERI (External Reinforcement Incorporated.) "Short Courses" Arizona 1995
- [3] H.F.Wu, D.W.Dwight, and N.T.Huff, "Effects of Silane Coupling Agents on the Interphase and Performance of Glass-Fiber-Reinforced Polymer Composites," *Composites Science & Technology*, 57, 1997, pp. 975-983.
- [4] Çelik, Abdullah "Fiber Takviyeli Polimerler ve Mühendislik Yapılarında Kullanım Alanları", Y.Lisans