



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ BOYUTLU DOKUMA KOMPOZİT YAPILARIN MEKANİK ANALİZİ

Seda GÜNDOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ BOYUTLU DOKUMA KOMPOZİT YAPILARIN MEKANİK ANALİZİ

Seda GÜNDOĞAN

Prof.Dr. Recep EREN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ BOYUTLU DOKUMA KOMPOZİT
YAPILARIN MEKANİK ANALİZİ

Seda GÜNDOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 26/02/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy
çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Recep EREN

Danışman

.....

Prof.Dr.H.Rıfat ALPAY

.....

Yrd.Doç.Dr.Behiye KORKMAZ

.....

ÖZET

Bu çalışmada otomotiv, denizcilik ve yapı endüstrisinde kullanılan, el yatırma tekniği ile üretilmiş üç boyutlu dokuma yapıların özel bir türü olan sandviç dokuma kumaş takviyeli kompozit yapıların, mekanik performanslarının belirlenebilmesi için çekme mukavemetleri, eğilme mukavemetleri ve ani darbe mukavemetleri analiz edilmiştir. Öncelikle kumaş/vinilester reçine kombinasyonu ile oluşan kompozit yapıların çekme mukavemeti, çekme modülü, eğilme mukavemeti, eğilme modülü, kırılma enerjisi ve ani darbe mukavemeti tespit edilmiştir. Ardından da bu sisteme orta kısım malzemesi olan poliüretan köpüğün eklenmesi ile elde edilen kompozit yapıların çekme mukavemeti, çekme modülü, eğilme mukavemeti, eğilme modülü, kırılma enerjisi ve ani darbe mukavemeti tespit edilerek karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sandviç dokuma kumaş, el yatırma tekniği, vinilester reçine, poliüretan köpük, çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti, ani darbe mukavemeti.

ABSTRACT

In this work, tensile strength, bending strength, and impact strength of composite materials, which are reinforced with a sandwich woven fabric, a special kind of three dimensional woven fabric, manufactured by hand impregnation and used in automotive, marine and building industry are analysed in order to determine their mechanical performance. Firstly, the tensile strength, tensile modulus, bending strength, bending modulus, impact strength and impact modulus of composites which are composed of fabric/vinylester resin are evaluated. Then polyurethane foam, which is a core material, is added to the system and resultant composites are evaluated for their tensile strength, tensile modulus, bending strength, bending modulus, impact strength and modulus. The results of two different type of composites are analysed by comparison.

Key Words: Sandwich woven fabric, hand impregnation, vinylester resin, polyurethane foam, tensile strength, bending strength, impact strength .

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAY SAYFASI	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
SİMGELER DİZİNİ	X

GİRİŞ	1
-------------	---

1. KAYNAK ÖZETLERİ

1.1 Tekstil Yapılarıyla Takviye Edilen Kompozitlerde Kullanılan Elyaf Çeşitleri...	3
1.2. Tekstil Yapılarıyla Takviye Edilen Kompozitlerde Kullanılan Reçineler	4
1.3. Tekstil Kompozitlerinde Takviye Elemanlarının Sınıflandırılması	6
1.4. Üç Boyutlu Tekstil Yapılarının Sınıflandırılması	8
1.4.1. Filament sarma yöntemi	9
1.4.2. Üç boyutlu diyagonal örme (braiding) yöntemi	11
1.4.3. Üç boyutlu örme yöntemi	15
1.4.4. Üç boyutlu dokusuz yüzey yöntemi	17
1.4.5. Üç boyutlu dokuma yöntemi	19
1.4.5.1. Klasik dokuma tezgahlarının modifikasyonu ile üretilen üç boyutlu dokuma yapılar	21
1.4.5.2. Gerçek üç boyutlu dokuma teknikleri ile üretilen yapılar	24
1.4.5.3. Dairesel üç boyutlu dokuma yapılar	27
1.4.5.4. Sandviç dokuma yapılar	29

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal.....	30
2.2. Yöntem.....	33
2.2.1. Çekme mukavemetinin ölçümü.....	33
2.2.2. Eğilme mukavemetinin ölçümü.....	34
2.2.3. Ani darbe mukavemetinin ölçümü.....	35

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1. Çekme Mukavemeti.....	37
3.2. Eğilme Mukavemeti.....	40
3.3. Ani Darbe Mukavemeti.....	45
SONUÇ.....	48
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	53
TEŞEKKÜR.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1	Tekstil kompozitlerinde takviye elemanlarının sınıflandırılması.....	7
Çizelge 3.1	Üç boyutlu dokuma takviyeli kompozit yapıların mekanik özellikleri.....	37
Çizelge 3.2	Üç boyutlu dokuma takviyeli kompozit yapıların üç noktalı eğilme testi sonuçları.....	41
Çizelge 3.3	Üç boyutlu dokuma takviyeli kompozit yapıların ani darbe mukavemeti testi sonuçları.....	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1	Tekstil kompozitlerinde kullanılan reçinelerin sınıflandırılması	4
Şekil 1.2	Termoset moleküllerin çapraz bağlanması	5
Şekil 1.3	Amorf ve yarı kristalin polimerlerde moleküler düzenlemeler.....	5
Şekil 1.4	Yaş sarım yöntemi.....	9
Şekil 1.5	Filament sarma yöntemi ile üretilen çeşitli yapılar.....	10
Şekil 1.6	Filament sarma metodları.....	11
Şekil 1.7	İki adımlı ve dört adımlı diyagonal örme biçimli yapılarındaki tekrar eden birimler.....	12
Şekil 1.8	Dairesel ve köşeli olarak dizayn edilmiş diyagonal örme makineleri ve diyagonal örme tekniği ile üretilmiş biçimli yapı.....	13
Şekil 1.9	Üç boyutlu diyagonal örme makinesi, yıldız dişliler ve iplik taşıyıcılar.....	14
Şekil 1.10	Üç boyutlu diyagonal örme yöntemi ile üretilen çeşitli yapılar.....	15
Şekil 1.11	Çok eksenli çözümlü örme yapısı.....	17
Şekil 1.12	Çok eksenli LIBA çözümlü örme sistemi.....	17
Şekil 1.13	Üç boyutlu ortogonal dokusuz yüzey yapısının oluşumu.....	19
Şekil 1.14	Üç boyutlu tüp şeklinde ortogonal dokusuz yüzey yapısının oluşumu...19	
Şekil 1.15	İki boyutlu klasik dokuma yapısı ve üç eksenli dokuma yapısı.....	20
Şekil 1.16	Üç boyutlu dokuma yapılarına örnekler.....	21
Şekil 1.17	İplik konumlandırma çubukları ile üç boyutlu dokuma yapısının üretimi ve ortaya çıkan dokuma yapısı.....	22
Şekil 1.18	Vidalı şaft sistemli üç boyutlu beş eksenli dokuma mekanizması ve ortaya çıkan dokuma yapısı.....	23
Şekil 1.19	Kılavuz bloklu şaft sistemli üç boyutlu dokuma mekanizması.....	23
Şekil 1.20	Ortogonal üç boyutlu dokuma prosesi ve ortaya çıkan yapı.....	24
Şekil 1.21	Çok eksenli üç boyutlu dokuma işlemi ve ortaya çıkan yapı.....	26

Şekil 1.22	Katmanların tüm kalınlık boyunca birleştirildiği açılı interlok yapı ve katmanların kısmi olarak birleştirildiği açılı interlok yapı.....	26
Şekil 1.23	Dairesel dokuma yapısında ipliklerin yerleşimi.....	27
Şekil 1.24	Üç boyutlu yuvarlak dokuma tezgahı ve meydana gelen dokuma yapısı.....	28
Şekil 1.25	Polar dokuma tezgahı ve meydana gelen dokuma yapısı.....	29
Şekil 1.26	Sandviç dokuma takviyeli kompozit yapı.....	29
Şekil 2.1	Kadife dokuma tekniği ile ortaya çıkan üç boyutlu dokuma yapısı.....	30
Şekil 2.2	El yatırma tekniğinin uygulama aşamaları.....	32
Şekil 2.3	Instron 5582 test cihazı.....	33
Şekil 2.4	Üç noktalı eğilme test düzeneği.....	35
Şekil 2.5	Charpy test cihazı.....	36
Şekil 3.1	Çekme testi yük-yer değiştirme sonuçları.....	38
Şekil 3.2	Çözgü ve atkı yönlerindeki kalınlık görünümü.....	39
Şekil 3.3	Çekme testi sonucu meydana gelen deformasyon.....	40
Şekil 3.4	Darbesiz numunelere ait üç noktalı eğilme testi yük-yer değiştirme sonuçları.....	42
Şekil 3.5	1 darbeli numunelere ait üç noktalı eğilme testi yük-yer değiştirme sonuçları.....	42
Şekil 3.6	2 darbeli numunelere ait üç noktalı eğilme testi yük-yer değiştirme sonuçları.....	43
Şekil 3.7	Köpük ilave edilen kompozit numunelerinde üç noktalı eğilme testi sonucu meydana gelen deformasyon.....	44
Şekil 3.8	Kumaş/matriks sistemi ile kumaş/matriks/köpük sistemine ait üç noktalı eğilme testi yük-yer değiştirme sonuçları.....	44
Şekil 3.9	I kirişi yapısı.....	45
Şekil 3.10	Charpy testi sonucu meydana gelen deformasyon.....	47

SİMGELER DİZİNİ

A – Kırılma enerjisi

E – Çekme modülü ve Eğilme modülü

F – Maksimum yük

K – Ani darbe mukavemeti

L – Başlangıçtaki numune uzunluğu

Δl – Kopma uzama miktarı

m – Yük-uzama eğrisinin elastik bölgeye ait eğimi

t – Numune kalınlığı

w – Numune genişliği

σ – Çekme mukavemeti ve Eğilme mukavemeti

ε – Kopma uzama oranı

GİRİŞ

Kompozit malzemeler düşük yoğunlukta yüksek rijitlik ve mukavemete, yüksek enerji absorpsiyon davranışına ve mükemmel bir yorulma performansına sahip oldukları için kullanımları da giderek yaygınlaşmıştır (Miravete 1999). Kompozitlerin sunmuş olduğu üstün avantajlar nedeniyle mevcut uygulama alanlarının yanı sıra yeni uygulama alanlarına da kolay bir şekilde nüfus edebilmesi geleceğin malzemesi olma imajını güçlendirmektedir.

Yüksek performans gerektiren uygulamalar için kullanılacak tekstil kompozitlerinde takviye malzemesi olarak cam, karbon, aramid gibi yüksek mukavemetli ve yüksek modüllü lifler kullanılır. Cam lifleri maliyetlerinin uygun olmasının yanında yüksek mukavemete de sahip oldukları için en yaygın olarak kullanılan takviye malzemesidir. Cam elyafı takviyeli kompozitler, taşımacılık ve otomotivde; tır gövde panellerinde, kamyonet kasalarında, oto iç ve dış komponentlerinde araç ağırlığını düşürerek yakıt tasarrufu sağlaması ve çevre dostu yaklaşımları desteklemesi sebebiyle çelik ve alüminyum yerine kullanılacak en uygun malzemedir. (<http://www.camelyaf.com.tr>,2009). Ancak son yıllarda kullanımı yaygınlaşan cam elyafından oluşan üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozit yapılar, metallere göre daha hafif ve daha sağlam olduğu için daha az yakıt harcatır. Bu yapılar otomotiv endüstrisinde kaportaya alternatif olarak kullanılmasının yanında denizcilik endüstrisinde kabinlerde, kapılarda, pencerelerde ve bölmelerde; metrolarda iç ve dış panellerde, kapılarda ve bölmelerde; yapı endüstrisinde ise yalıtım amaçlı olarak iç ve dış duvarlarda kullanılmaktadırlar.

Üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozit malzemeler kompleks biçimli yapı üretimine izin verirler. Yapının bu üstünlüğü sayesinde kullanılacak malzeme miktarının, fire miktarının ve işlemlerin azalmasıyla üretim maliyeti düşer. Üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozitlerin bir diğer önemli avantajı da yüksek darbe direncine sahip olmalarıdır (Lundblad ve ark. 1995). Üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozitlerde darbe direncinin iyi olmasının nedeni kalınlık doğrultusundaki

ipliklerin darbe yükü altında katmanlar arası ayrılmayı durdurması ya da yavaşlatmasıdır.

Üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozitlerin sahip olduğu bu avantajlar, yapılan bilimsel çalışmaları bu yapıların mekanik özelliklerinin araştırılması üzerine yoğunlaştırmıştır. Bu konuda kapsamlı çalışmalardan birisi Zic ve arkadaşları (1990) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada dikdörtgenel, üçgenel ve sinüsoidal merkez yardımıyla bütünleşmiş iki yüzden oluşan üç boyutlu dokuma kumaş yapılarıyla takviye edilmiş kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemetleri araştırılmıştır. Brandt ve arkadaşları (1996) tarafından yapılan çalışmada ise farklı dokuma tipleri kullanılarak oluşturulan yapılarla takviye edilmiş kompozitlerin ve üç boyutlu dokumaların özel bir türü olan sandviç dokuma takviyeli kompozitlerin mekanik performansı, hasar toleransı ve enerji absorpsiyon kapasitesi karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Brandt ve arkadaşlarının (Brandt ve ark. 1996) sandviç dokuma yapıların orta kısmında köpük ve bal peteği kullanarak meydana getirdikleri bu kompozit yapılarda hasar direnci ve enerji absorpsiyon kapasitesinin geliştirilmiş olduğu görülür. Pochiraju ve Chou (1999) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise açılı interlok üç boyutlu dokuma yapısıyla takviye edilmiş kompozitlerin çekme, bası, kayma ve eğilme yüklemeleri altındaki davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Van Vuure ve arkadaşları (2000) tarafından yapılan çalışmada ise sandviç dokuma takviyeli kompozitlerin mekanik performanslarının belirlenebilmesi için bası ve kayma mukavemetleri analiz edilmiş ve yapı geometrik olarak incelenmiştir. Langston ve Qiu (2003) tarafından yapılan çalışmada da aramid iplikler kullanılarak oluşturulan ortogonal üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozit malzemelerin çekme mukavemetleri analiz edilmiştir.

Bu çalışmada el yatırma tekniği ile üretilen iki fazlı, üç boyutlu dokumaların özel bir türü olan sandviç dokuma takviyeli kompozit yapı ile bu yapının içerisine poliüretan köpük uygulaması yapılarak elde edilen üç fazlı yapının çekme mukavemetleri, eğilme mukavemetleri ve ani darbe mukavemetleri analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

1. KAYNAK ÖZETLERİ

1.1. Tekstil Yapılarıyla Takviye Edilen Kompozitlerde Kullanılan Elyaf Çeşitleri

Kompozit malzemeler, birbirlerinin zayıf yönlerini düzelterek üstün özellikler elde etmek amacıyla, birbirinden farklı iki veya daha fazla bileşenin bir araya getirilmesiyle elde edilmiş yapılardır. Kompozit malzemelerin performans ve mekanik özelliklerini, kompozitleri oluşturan bileşenler tek başlarına sağlayamazlar. Kompozit malzemede, bileşenlerin iyi özellikleri bir araya getirilmiştir.

Tekstil kompozitlerinde, tekstil malzemeleri takviye elemanlarıdır ve kompozit malzemelerin performansını belirlerler. Yüksek performans gerektiren uygulamalar için kullanılacak tekstil kompozitlerinde takviye malzemesi olarak cam, karbon ve aramid gibi yüksek mukavemetli ve yüksek modüllü lifler kullanılır (Hull 1981).

Cam lifleri maliyetlerinin uygun olmasının yanında yüksek mukavemete de sahip oldukları için en yaygın olarak kullanılan takviye malzemesidir. Cam liflerinin tipik örnekleri A, C, D, E ve S tipi cam lifleridir. En çok kullanılan E tipi camdır. Düşük alkali oranı nedeniyle E tipi cam liflerinin elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre oldukça iyidir. Maksimum alkali içeriği %2 olan ve kalsiyum alüminyum borosilikat içeren E tipi cam lifleri yüksek dayanım özelliği gösterirler (<http://www.camelyaf.com.tr>,2009). C tipi cam liflerinin kimyasal direnci yüksek olduğu için korozyona dayanıklılık istenen yerlerde kullanılır. S tipi cam lifleri ise yüksek modüle ve mukavemete sahip olmalarına karşın yüksek maliyetinden dolayı ancak özel kullanım alanları için uygundur (Philips 1989). Karbon liflerinde mukavemet/ağırlık ve modül/ağırlık oranları çok yüksektir. Aynı zamanda yüksek ısılarda özelliğini koruma ve yorulma dayanımı özelliklerine sahiptirler. Bununla birlikte karbon elyafının kendi yapısal özelliklerinden kaynaklanan bazı olumsuz yanları da mevcuttur. Liflerin sınırlı uzama özellikleri bazı darbe sorunlarına neden olmaktadır. Bu açığı kapatmak amacıyla daha yüksek uzama olanaklı elyaf ürünleri geliştirilmektedir. Karbon elyafının elektriği iletme özelliği de bazı kullanım alanları için uygun değildir. Aramid lifleri yüksek modül, yüksek düzeyde yapışma özelliği ve

yüksek mukavemet/ağırlık oranını üründe bir araya getirmektedir. Mukavemet ve modül değerlerinin yanında liflerin kolaylıkla ıslatılabilmesi ve üründe darbe dayanımı özellikleri dolayısıyla yaygın olarak kullanılan reçinelerin çoğunluğu ile kullanılabilir. Aramid elyafı negatif ısıl genleşme katsayısına sahip olduğu için ısıl yayılmanın önem taşıdığı ortamlarda fayda sağlamaktadır (<http://www.camelyaf.com.tr>,2009).

1.2. Tekstil Yapılarıyla Takviye Edilen Kompozitlerde Kullanılan Reçineler

Reçineler yapının bütünlüğünü ve rijitliğini sağlayıp, takviye elemanı olan lif, iplik veya kumaşları bir arada ve istenen doğrultularda tutarlar. Reçine mukavemeti, tekstil takviye elemanının mukavemeti ile kıyaslandığında çok düşüktür (Hull 1981). Tekstil kompozitlerinde kullanılan reçineler, termoset ve termoplastik olarak iki gruba ayrılırlar (Şekil 1.1) (<http://www.camelyaf.com.tr>,2009). Termoplastik reçineler ısıtıldıklarında yumuşarlar ve ısıtılmış yarı sıvı haldeyken şekillendirilebilirler. Termoset reçineler ise bunun aksine ilk hallerinde genelde sıvıdırlar. Son ürüne yönelik olarak kullanıldıklarında bir katalizörün, ısının ya da her ikisinin de yardımıyla sertleşme aşamasına geçerler. Sertleşme tamamlandıktan sonra termoset reçineler orijinal sıvı hallerine döndürülemezler. Bir kez şekillendirildiklerinde bir daha yeniden şekillendirilemezler (<http://www.camelyaf.com.tr>,2009).



Şekil 1.1 Tekstil kompozitlerinde kullanılan reçinelerin sınıflandırılması

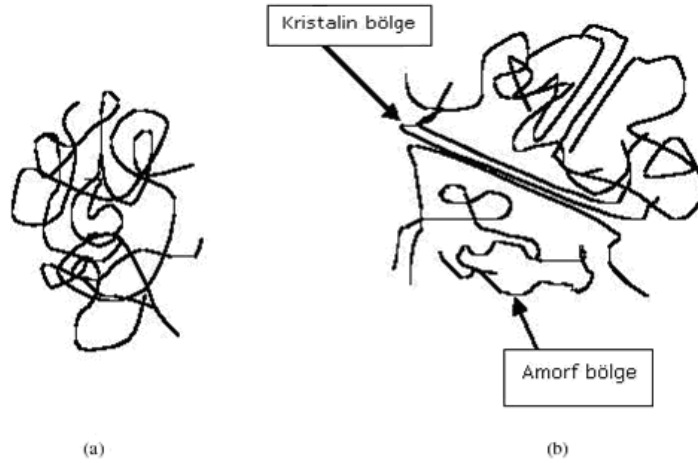
Termoset reçineler izotropiktirler ve lif takviyeli kompozit yapılarda daha yaygın olarak kullanılırlar. Bu reçinelerin, lif takviyeli kompozit yapımında düşük viskozitede olmaları tercih edilir. Termoset reçinelerle oluşturan kompozit yapılarda katılma esnasında molekül zincirleri arasında çapraz bağlanma olduğu için (Şekil 1.2),

moleküller tekrar eritilip şekil verdirilemez. Çapraz bağlanma yoğunluğu ne kadar fazla ise malzeme o kadar rijittir ve ısıl stabilitesi yüksek olur (Mazumdar 2002). Yaygın olarak kullanılan termoset reçineler; epoksi, polyester ve vinilestlerdir.



Şekil 1.2 Termoset moleküllerin çapraz bağlanması

Termoplastik moleküller işlem esnasında çapraz bağlanma yapmadıkları için esnektirler ve yeniden şekillendirilebilirler. Şekil 1.3'te de görüldüğü gibi termoplastikler amorf ya da yarı kristalin yapıda olabilirler. Amorf termoplastiklerde moleküller gelişigüzel düzenlenmiş bir yapıdadır. Kristalin bölgede ise moleküller sıkı paketlenmiş düzenli bir yapıdadır (Mazumdar 2002).



Şekil 1.3 Amorf (a) ve yarı kristalin (b) polimerlerde moleküler düzenlemeler

Termoset reçinelerin sağladığı avantajlar;

1. Başlangıçtaki reçine sistemi sıvı formda olduğu için termoset kompozitleri işlemesi kolaydır.

2. Lifler, termosetlerle kolay ıslatılabildiğinden oluşan kompozit malzemede boşluk ve gözenek daha azdır.
3. Termoset kompozitlerin işlenmesinde, termoplastik kompozitlere göre ısı ve basınç gereksinimi daha azdır. Bu da enerji kazanımı sağlar.
4. Termoset kompozitlerin işlenmesinde basit ve düşük maliyetli donanımlar kullanılabilir.

Termoset reçinelerin dezavantajları;

1. Termoset kompozitlerin katılma zamanları uzundur. Bu yüzden termoplastiklere göre düşük üretim oranları elde edilir.
2. Termoset kompozitler bir kez katılaştırıldığında tekrar şekil verilemez.
3. Termoset kompozitlerin geri dönüşümü bir sorundur.

Termoplastik reçinelerin sağladığı avantajlar;

1. Proses süreci genelde çok kısadır. Çünkü proses sırasında kimyasal bir reaksiyon yoktur. Bu nedenle yüksek hacimli üretim metotları için kullanılabilir. Örneğin, enjeksiyon kalıplama için proses süresi 1 dakikadan azdır.
2. Termoplastik kompozitler ısı ve basınç ile yeniden şekillendirilebilirler.
3. Termoplastik kompozitlerin geri dönüşümü kolaydır.

Termoplastik reçinelerin dezavantajları;

1. Termoplastik kompozitlerin üretimi ağır ve dayanıklı bir donanım gerektirir. Bu durum da maliyeti arttırır.
2. Termoplastik kompozitlerin üretiminde ısı ve basınç uygulanması nitelikli bir donanım gerektirir (Mazumdar 2002).

1.3. Tekstil Kompozitlerinde Takviye Elemanlarının Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılan tekstil yapıları değişik formlarda ve şekillerde üretilebilmektedirler. Bu yapıların sınıflandırılmasıyla ilgili pek çok yaklaşım olmasına rağmen bu yaklaşımlar arasında önemli farklılıklar yoktur.

Çizelge 1.1 Tekstil kompozitlerinde takviye elemanlarının sınıflandırılması

Tip	Takviye sistemi	Tekstil yapısı	Lif uzunluğu	Takviyeleme doğrultusu	Lif kesişimi
I	Dağınık	Kesikli lif	Kesikli	Kontrolsüz	Yok
II	Doğrusal	Filament	Sürekli	Doğrusal	Yok
III	Katmanlı	Basit kumaş	Sürekli	İki boyutlu	İki boyutlu
IV	Entegre olmuş	Gelişmiş kumaş yapısı	Sürekli	Üç boyutlu	Üç boyutlu

Scardino (Scardino 1991), tekstil kompozitlerinde kullanılan takviye elemanlarını, Çizelge 1.1’de gösterildiği şekilde sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırmaya göre, tekstil kompozitlerinde kullanılan takviye elemanları dört gruba ayrılmıştır. Genellikle, kesikli lif sistemleri (Tip I), liflerin yapı içerisindeki yerleşimi kontrol edilemediği ve yapı karmaşık olduğu veya bütünlük arz etmediği için kompozit performansı açısından uygun değildirler. Bu yapılar, lif mukavemetinden en az yararlanan yapılardır.

Lineer filament iplik sistemleri (Tip II), basit veya tek yönlü gerilmelere maruz kalacak sistemlerde uygundur. Filament iplik sistemlerinin kalitesinin artırılması ve genel amaçlı kullanılabilmesinin sağlanması için bu tür sistemlerde iplikler, yapıda çok yönlü olarak yerleştirilmek zorundadırlar. Bununla birlikte, en karmaşık filament sarma ve yatırma sistemlerinde bile sınırlı bir performans düzeyine erişilebilir. Bunun nedeni iplikler arasında kesişme ve bütünlük olmamasıdır, bu durum iplik katmanları arasında daha kolay delaminasyona (ayrılmaya) sebep olacaktır.

Katmanlı yapılar (Tip III), dokuma, örme gibi yöntemlerle üretilmiş iki boyutlu kumaşların, düz yapılarda üst üste katmanlar halinde, dairesel yapılarda ise sarma yöntemi ile birleştirilmesiyle elde edilirler. Bu tür yapılarda, kumaş düzleminde iplik oryantasyonuna bağlı olarak gelişmiş performans özellikleri olmakla birlikte, özellikle katmanlar arasında delaminasyon (ayrılma) direnci düşüktür. Yani kumaş katmanlarına dik doğrultuda, malzemenin çekme dayanımı sadece matriks malzemenin yapışma kuvvetine bağlıdır ve bu değer de çok düşüktür.

Kompozit malzemelerin dayanımlarını arttırabilmek için, kalınlık doğrultusundaki (z doğrultusu) ve yapıyı oluşturan katmanların arasındaki mukavemetin yüksek olması gerekir. Kompozit malzemenin güvenilirliği veya sağlamlığı, kompozit malzemeyi

oluşturan materyallerin yapıdaki üniform dağılımına ve bu materyaller arasındaki arabirim özelliklerinin (özellikle yapışma) iyi olmasına bağlıdır. Tamamen entegre olmuş, gelişmiş kumaş sistemleri (Tip IV), lif sürekliliği, yapıda istenen doğrultuda iplik veya liflerin çok katmanlı olarak yatırılabilmesi ve doğrultularının kontrol edilebilmesi, yapıdaki lif veya ipliklerin kesişimlerinin yeterli olması nedeniyle yük taşıyan elemanların imalatı için en uygun takviye malzemesi olarak düşünülürler. Bu yapılarda katmanlar arası delaminasyon (ayrılma) riski ortadan kaldırılmıştır. Tip IV grubunda bulunan yapılar, dokuma, örme, diyagonal örgü, dokusuz yüzey ve elle veya yarı otomatik olarak iplik yatırma sistemleri ile elde edilebilirler.

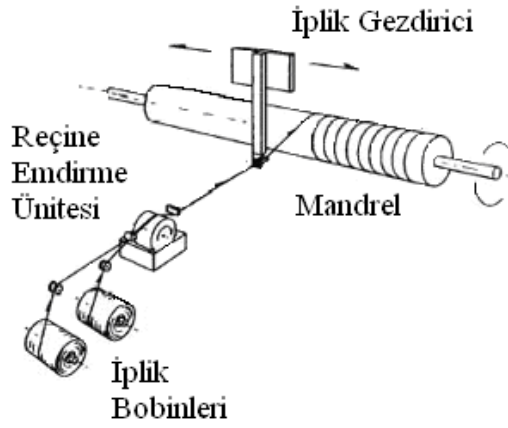
Tip IV ile belirtilen, ipliklerin çok eksenli olarak, tamamen birleşik halde meydana getirdikleri üç boyutlu tekstil yapıları, kompozit malzemeler için diğer takviyeleme elemanları ile sağlanamayacak çok önemli avantajlara sahiptirler. Özellikle otomotiv, havacılık, denizcilik ve yapı endüstrisinde, mekanik ve termik zorlanmalara karşı çok yönlü olarak dayanım gösterebilecek malzemelere olan ihtiyaç kompozit endüstrisi için üç boyutlu yapıları vazgeçilmez hale getirmiştir. Bu yapılar ile elde edilen kompozit malzemeler, istenen doğrultularda, istenen performans seviyelerine ayarlanabilmektedirler. Üç boyutlu yapıların önemli bir avantajı da, üç boyutlu dokuma veya yüzey oluşturma teknikleriyle takviye elemanının şeklinin doğrudan oluşturulabilmesi ve bu yöntemlerle kompleks şekle sahip yapıların üretilmesinin mümkün olmasıdır (Karahana ve Gündoğan 2007).

1.4. Üç Boyutlu Tekstil Yapılarının Sınıflandırılması

Üç boyutlu tekstil yapılarını sınıflandırmak için belirli bir yöntem yoktur. Genellikle, bu yapıların sınıflandırılmasında; üretim yöntemi, lif veya ipliklerin yapı içerisindeki dizilimleri ve yapının makro ve mikro geometrisi esas alınır. Bu çalışmada üç boyutlu tekstil yapıları, üretim yöntemlerine ve yapıların özelliklerine göre açıklanacaktır.

1.4.1. Filament sarma yöntemi

Filament sarma yönteminde yaş sarım ve kuru sarım olmak üzere iki farklı tip filament sarma yöntemi mevcuttur. Yaş sarım yönteminde filamentler, şekil 1.4'te (<http://www.tifac.org>) görüldüğü gibi, bir reçine tankına daldırılırlar ve ondan sonra döner bir elemanın üzerine yerleştirilmiş bir mandrelin etrafına sarılırlar. Kuru sarım yönteminde ise önceden reçine emdirilip kısmen kurutulmuş filamentler kullanılmaktadırlar. Sarım sonunda da reçine içeriğinin üniformitesini sağlamak için mandrel sürekli olarak döndürülerek kurutma işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntemler kıyaslandığında düşük üretim maliyeti, sarım süresinin kısa olması ve yöntemin daha basit olması nedeniyle yaş sarım daha avantajlıdır.



Şekil 1.4 Yaş sarım yöntemi

Filament sarma yöntemi ile mukavemetli ve hafif yapılar üretilebilir. Ayrıca bu yöntemle elde edilen materyallerin yüksek korozyon ve elektrik direnci gibi avantajları da vardır. Bu yöntemle üretilen malzemeler, silindirik ya da küresel basınçlı kaplar, yüksek basınçlı boru hatları, roket motoru kaplaması, helikopter frenleri, büyük yer altı depolama tankları (petrol, yağ, tuz, asit, alkali, su) gibi alanlarda kullanılır. Bu proseste, dairesel şekillerin yanısıra, prizmatik şekiller ve T şeklindeki kompleks parçalar da üretilebilmektedir (Şekil 1.5) (<http://www.tifac.org>).



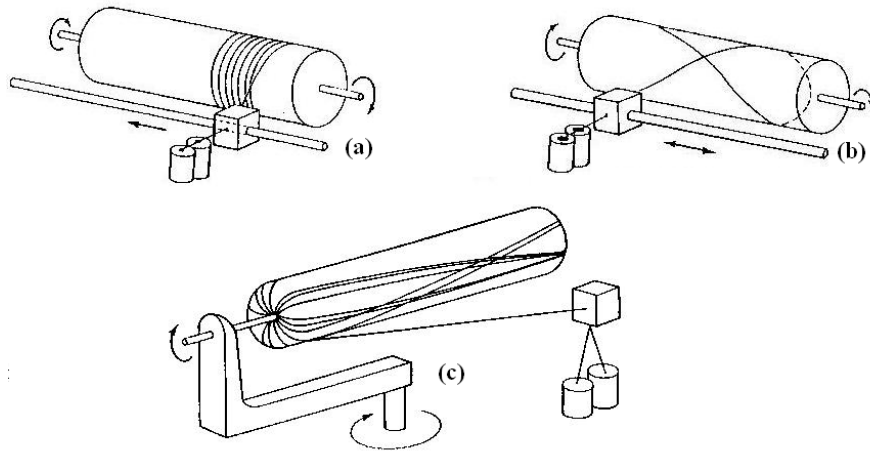
Şekil 1.5 Filament sarma yöntemi ile üretilen çeşitli yapılar

Filament sarma yönteminde, kompozit malzemede istenen kalınlık ve kuvvet sağlanıncaya kadar sarım gerginliği, sarım açısı ve herbir katmandaki reçine içeriği değiştirilebilir. Kompozitin özellikleri seçilen sarım modeline göre değişiklik gösterir. Üç temel filament sarma modeli vardır (Adanur 1995).

a) Dairesel sarım: Bu sarım mandrelin eksenine 90 dereceye yaklaşan yüksek bir helis açısına sahiptir. Mandrelin herbir devrinde iplikler yanyana gelecek şekilde konumlanırlar (Şekil 1.6.a).

b) Helisel sarım: Helisel sarımda, mandrelin eksenine ile sarım açısı arasında belirli bir açı vardır. Bu açı mandrel hızı ve iplik gezdirici hızının birbirine göre olan oranına bağlı olarak değişir (Şekil 1.6.b).

c) Polar sarım: Polar sarımda, lifler önce mandrelin bir ucuna ardından da diğer ucuna zıt yönlü olarak sarılırlar. Diğer bir deyişle mandrel kolu boyuna yöndeki ekseninde döndüğü için lifler kutuplaşarak sarılır. Bu sarım basınçlı kapların kubbeli kısmını oluşturmak için kullanılır (Şekil 1.6.c).



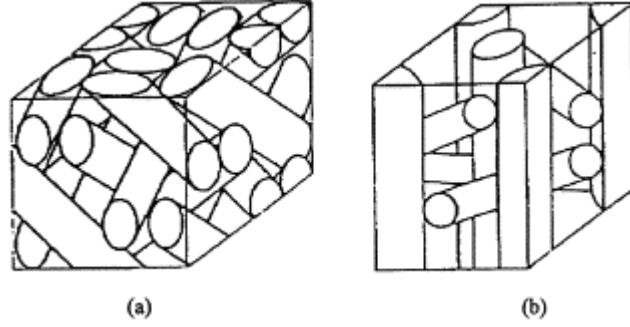
Şekil 1.6 Filament sarma metodları (a: dairesel sarım; b: helisel sarım; c: polar sarım)

1.4.2. Üç boyutlu diyagonal örme (braiding) yöntemi

Diyagonal örgü, ipliklerin sırasıyla birbirlerinin üstünden ve altından geçerek bağlantı yapmasıyla oluşur. Çok yönlü üretim imkanı, mekanik özelliklerinin iyi olması ve düşük üretim maliyetleri gibi avantajlarından dolayı diyagonal örme yöntemine olan ilgi kompozit endüstrisinde son yıllarda giderek artmaktadır. Dokuma yapılarla kıyaslandığında, diyagonal örgü üretiminde iplikler daha az deforme olmaktadır. Bu özelliği, yüksek performanslı kırılğan liflerin üretiminde diyagonal örgü tekniğini daha uygun hale getirmektedir. Diyagonal örgü yapılar kompleks şekillerin üretimi için de uygun bir yöntemdir. Bu yüzden diyagonal örgü tekniği, bitmiş net şeklin aynısının veya çok yakın bir formunun üretimine olanak vermektedir. Bu tür formların normalde bir kompozit malzemeden elde edilmesi durumunda, malzeme üzerinde kesme veya oyma işlemleri gerekmektedir, bu da yapıdaki ipliklerin kesilmesi ve yapının mukavemetinin düşmesi anlamına gelmektedir (Ko 1989).

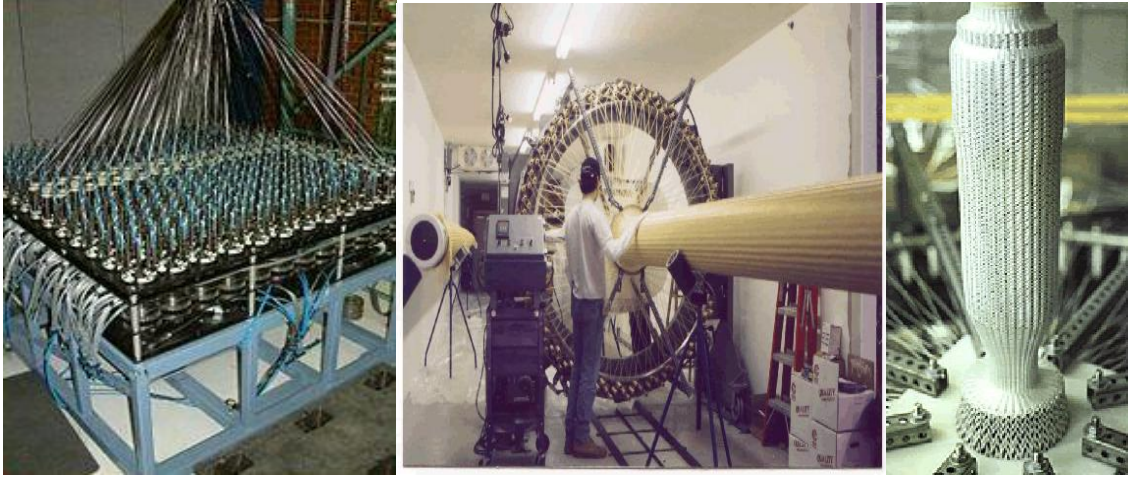
İki adımlı, dört adımlı ve çok adımlı; dairesel ve köşeli diyagonal örme yöntemleri çeşitli biçimli yapıların üretiminde başarıyla kullanılmaktadırlar. İki adımlı diyagonal örme biçimli yapıları, aksenal ve örücü ipliklerden oluşur. Aksenal iplikler kumaşa şekil verilen doğrultuda hareket eder ve yapı içerisinde düz olarak konumlanırlar. Bu iplikler herhangi bir örme bağlantısı yapmazlar. Örücü iplikler ise, sabit aksenal iplikler arasında hareket ederler. Aksenal iplikleri kavrayıp, biçimli yapıya şekil verirler. Makine yatağında aksenal ipliklerin düzenlemesi yapılırken; örücü ipliklerin sayısı ve

düzenlemesine, yapıdaki toplam iplik sayısına ve biçimli yapının kesit alanının şekline karar verilir. Biçimli yapının kesit alanının şekli, makine yatağında düzenlenen aksenal ipliklerin şekliyle benzerdir. Dört adımlı diyagonal örme yapılarında ise örücü iplikler iç kısımdan çaprazlayarak geçip dış kısımdaki iki katmanla bağlantı yaparlar (Li ve ark. 1990). İki adımlı (b) ve dört adımlı (a) diyagonal örme biçimli yapılarındaki tekrar eden birimler şekil 1.7’de gösterilmiştir .



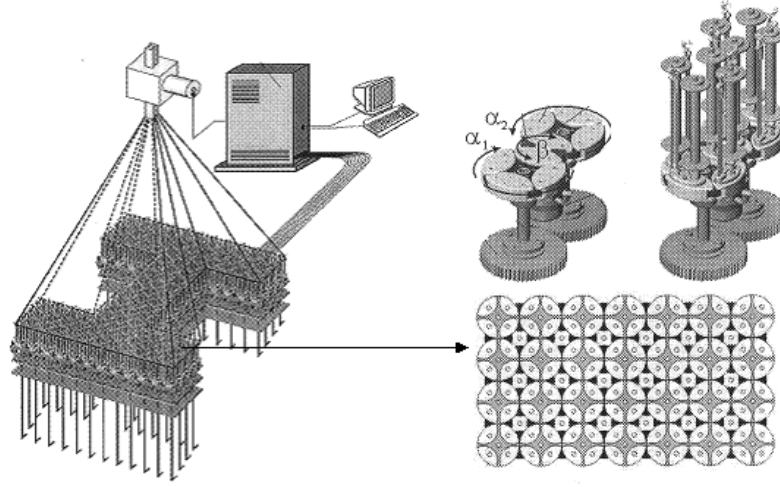
Şekil 1.7 İki adımlı (a) ve dört adımlı (b) diyagonal örme biçimli yapılarındaki tekrar eden birimler

Üç boyutlu diyagonal örme yapılar, dairesel ve köşeli şekilde üretilebilir. Şekil 1.8, dairesel ve köşeli olarak dizayn edilmiş diyagonal örme makinelerini ve diyagonal örme tekniği ile üretilmiş biçimli bir yapıyı göstermektedir. Dairesel makineler genellikle örülmesi istenen forma uygun bir mandrelin etrafında örme yaparak yapıyı oluştururlar. Köşeli olarak dizayn edilmiş diyagonal örme makinelerinde ise, iplik taşıyıcı mekikler, makine üzerinde belirli doğrultularda ipliği yatırır. İplik taşıyıcı mekikler, alt kısımlarında bulunan yıldız şeklindeki dişlilerle hareket ettirilirlir. Biçimli yapıların oluşumunda, çalışması istenen ve istenmeyen iplik taşıyıcılar bilgisayar kontrollü sistemlerle düzenlenirler (Bogdanovich ve Mungalov 2002).



Şekil 1.8 Dairesel ve köşeli olarak dizayn edilmiş diyagonal örme makineleri ve diyagonal örme tekniği ile üretilmiş biçimli yapı

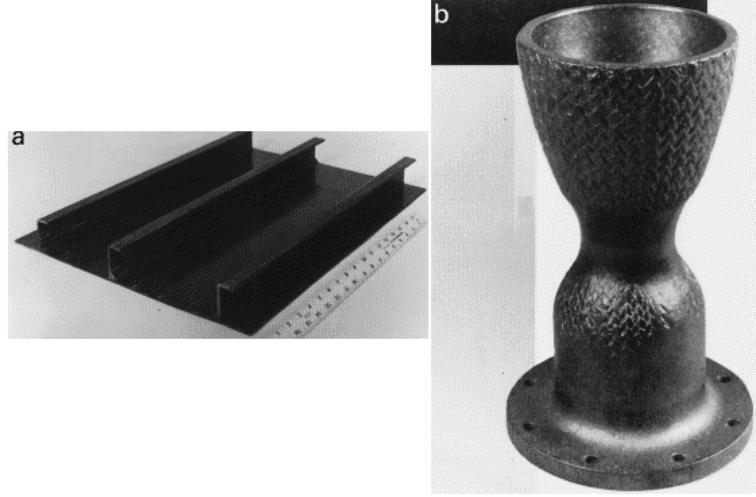
Dmitri ve Bogdanovich (Dmitri ve Bogdanovich 2002) tarafından geliştirilen köşeli diyagonal örme makinesinde, iplik taşıyıcılar yıldız şeklindeki dişlilerle hareket ettirilirlir. Her bir örme modülü, bir dişli, hareketi sağlayan bir mil ve en azından iki tane iplik taşıyıcıdan oluşur. Eksenel iplikler, makine dışındaki bobinlerden, dişlilerin hareketi ise dairesel kavrama kolu ile sağlanır. Bu makinede hareket veren sistem pnömattiktir ama istenirse hidrolik olan tipi de kullanılabilir. Makinenin kontrol sistemi de bilgisayar işlemcisi, kontrol yazılımı ve kullanım amacı hareket sırasında makine komponentlerinin pozisyonlarını denetlemek olan sensörleri içerir. Her bir modül kendi kontrol sistemine sahiptir. Bu sayede, seçilerek istenen modüller aktifleştirilir. Makinenin bir diğer önemli kısmı da, diyagonal örme açısını kontrol eden kumaş çekme sistemidir. Eksenel iplikler, makine dışındaki büyük bobinlerden tüm dişlilerin merkezindeki tüp formu sayesinde plaka üzerine alınır. 16 dişliden oluşan bir makinede, 64 tane örücü iplik ve 16 tane eksenel iplik kullanılır. 9 modüllü bir diğer makinede ise, 144 tane dişli vardır. Bu makinede de 576 tane örücü iplikle 144 tane eksenel iplik kullanılır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9 Üç boyutlu diyagonal örme makinesi, yıldız dişliler ve iplik taşıyıcılar

Kostar tarafından ele alınan (Kostar 1998), üç ya da daha fazla iplik grubunun birbiriyle iç içe bağlantı yaptırılmasıyla oluşan klasik diyagonal örme metodu en basit metottur ve sadece basit kesit alanına sahip şekillerin üretimi için uygundur. Tsuzuki ve arkadaşları (Tsuzuki ve ark. 1991) yıldız şeklindeki rotorların hem enine hem de boyuna yönde yerleşimi ile yapıyı oluşturan diyagonal örme makinasını dizayn etmişlerdir. Burada dört iplik taşıyıcı bir rotorla kuşatılmıştır ve bu iplik taşıyıcılar rotorun dönüşü ile belirlenmiş dört diyagonal doğrultuda hareket ettirilebilirler. Eksenel ipliklerin ve ekstra dolgu ipliklerinin yapıya dahil edilebilmesi sayesinde değişik geometriye ve şekle sahip üç boyutlu kompleks yapılar üretilebilir. Kimbara ise (Kimbara 1996) rotorların geliştirilmesi ile makine hızlarının arttırılabildiğini belirlemiştir.

Üç boyutlu diyagonal örme yöntemi; biyomedikal ürünlerde (Brookstein 1993), rijit panellerde, uçakların gövdesinde ve kanadında (Brown 1991), roket düzelerinde ve uçak gövdesindeki F kesitli yapılarda (Brown 1991) kullanılır (Şekil 1.10).



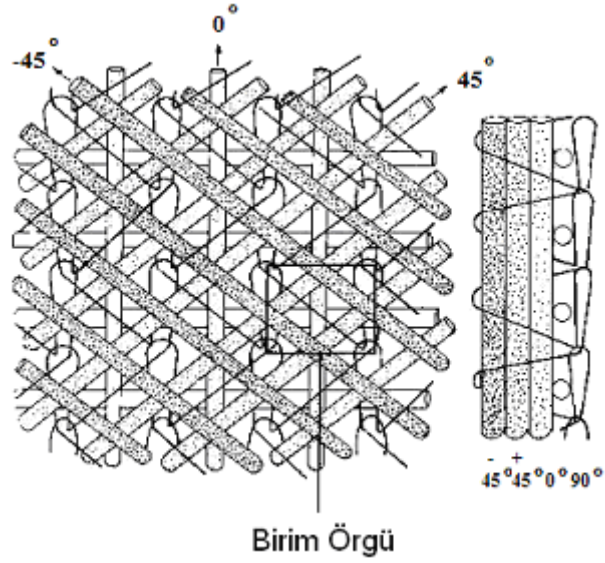
Şekil 1.10 Üç boyutlu diyagonal örme yöntemi ile üretilen çeşitli yapılar (Brown 1991)

1.4.3. Üç boyutlu örme yöntemi

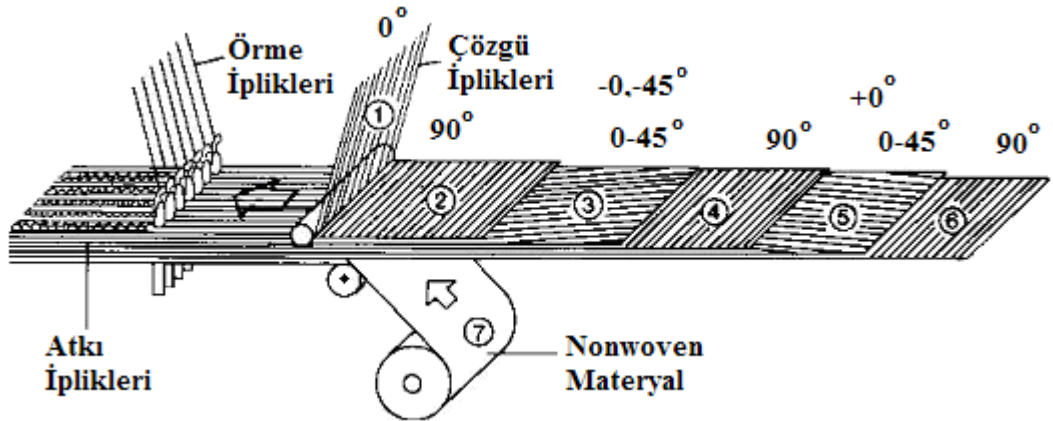
Üç boyutlu örme yapılar, hem atkı örmeciliği hem de çözgü örmeciliği yöntemlerinin her ikisiyle de üretilebilirler. Bazı ortogonal 3 boyutlu nonwoven yapıların oluşumu da iğneler yardımıyla gerçekleşmesine rağmen, o yapılar örme makinelerinde üretilmediği için gerçek örme yapılar değildirler. Atkı örmeciliği ile bitmiş halde istenen net şekle en yakın halde yapılar elektronik donanımlı makinelerde elde edilebilir (Ko 1989). Biçimli yapıların elde edilmesinde iki yataklı atkılı örme makineleri kullanılır. Ama çok katmanlı 3 boyutlu kumaşlar için iğne yatağı ilavesi gerekir (Bannister ve ark. 1999). Atkı örmeciliğinin başka sistemlerde olmayan rakipsiz bir özelliği, bu yapıların kompozit imalatında rahatlıkla form alabilmesidir. 0 ve 90 derece doğrultularında ilave bir takviyelendirme gerektiğinde boyuna yönde doğrusal dolgu iplikleri yapıya rahatlıkla dahil edilebilmektedir. Bu yapıların en önemli dezavantajı ise, yapının hacimli olması ve yapı içerisinde hava boşluğunun fazla olmasıdır, bu da kompozit imalatında bu yapıların kullanılması durumunda düşük lif hacimsel oranı ile sonuçlanmaktadır veya diğer yapılarla kıyaslandığında en düşük lif hacimsel oranı bu yapılarda elde edilmektedir. Atkı örmeciliği ile elde edilen yapılar sınırlı bir kullanım alanına sahipken, çok eksenli çözgü örme yapıların özellikle son yıllarda uygulama alanları hızla artmaktadır (Ko 1989).

Üç boyutlu çözümlü örme yapıları iki gruba ayırarak inceleyebiliriz. Sandviç formundaki örme yapılar, çift yataklı raşel makinesinde, her bir iğne yatağında alt ve üst yüzlerin eş zamanlı olarak örülmesiyle üretilir. Örme prosesi sırasında, iplikler, yüzler arasında bağlantı sağlayan ve kalınlığı oluşturan iplikler boyunca orta kısmı oluşturabilmek için, iki iğne grubu arasında aralıklarla değiştirilirler. Bu yapılar kalınlığı oluşturan ipliklerin dikey doğrultuda veya 45 derecelik eğimle düzenlenmesiyle oluşur. Kıvrımsız çözümlü örme yapılar ise lif yerleşimi ve çözümlü örme kombinasyonu kullanılarak üretilir. Çözümlü örme iğneleriyle kalınlık doğrultusunda atılan bağlayıcı iplikler sayesinde bir arada tutulan, tek yönlü elyaflardan oluşan kıvrımsız kumaş katmanlarından meydana gelir (Bannister ve ark. 1999).

Hearle (Hearle 1995), Mayer ve Liba firmalarının çok eksenli çözümlü örme makinelerinde dokumaya göre daha yüksek hızlarda çalışıldığını belirtmiştir. Mayer firmasının çözümlü örme makinesi 1.6 metreye kadar genişlikte 4 katmanlı kumaşların üretimini gerçekleştirebilirken, Liba firmasının çözümlü örme makinesi 6 katmanlı 2.5 metre genişliğe kadar olan kumaşların üretimi için uygundur. Üç boyutlu örme yapılar, yapısal geometri açısından, çözümlü (0°), atkı (90°) ve verev ($\pm\theta^\circ$) doğrultularda ipliklerin kalınlık doğrultusunda şekil 1.11'de görüldüğü gibi birbirleri ile zincir veya trikot örme ile yaptıkları bağlantılarla oluşmuştur. (0° , 90° , $\pm\theta^\circ$) doğrultulardaki ipliklerin yerleştirilmesi ve bu ipliklerin örme iğneleriyle dikilmesi sonucu oluşur. Bu yapıların en önemli farklılığı, verev doğrultuda yapıya dahil edilen ipliklerin doğrusalılığı, daha fazla doğrultuda iplik ilave edilebilirliği ve bağlantıların daha sağlam oluşudur. Mayer ve Liba makinelerinde, θ , 30° ile 90° arasında değişir. Bu proses yapıya nonwoven katmanların katılmasına da izin verir (Şekil 1.12). Buradaki tek dezavantaj iğnelerin nonwoven katmanları delerek dikmesinden dolayı yüzeydeki lifleri hasara uğratmasıdır.



Şekil 1.11 Çok eksenli çözümlü örme yapısı (Ko 1989)



Şekil 1.12 Çok eksenli LIBA çözümlü örme sistemi (Ko 1989)

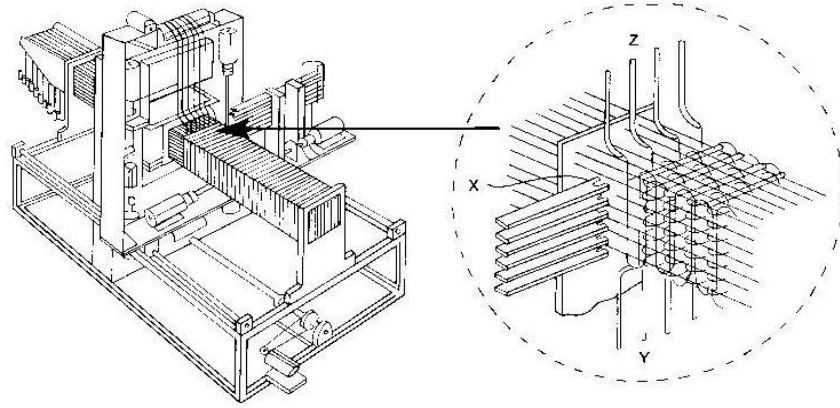
1.4.4. Üç boyutlu dokusuz yüzey yöntemi

Üç boyutlu dokusuz yüzey yapıların kompozit endüstrisinde kullanılmaları, dokuma ve diyagonal örme yapılar kadar eski değildir. İğneleme yöntemi ve dikişle birleştirme yöntemi en yaygın üretim teknikleridir. Ancak bu yapılarda iplikler arasında bağlantı olmadığı için, dokunmuş veya örülmüş kumaşlarla kıyaslandığında daha zayıf mekanik özelliklere sahiptirler.

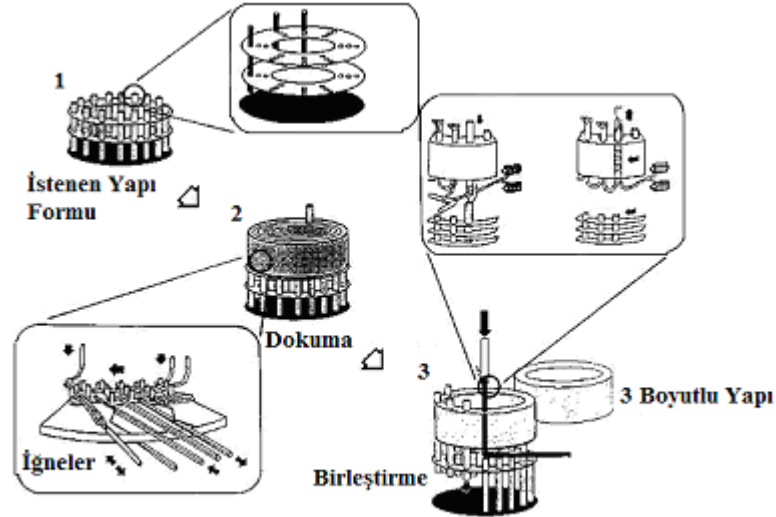
Yasui ve arkadaşları (Yasui ve ark. 1994) tarafından yapılan çalışmada, ipliklerin taşındığı borular sağa sola hareket edebilen kılavuzlar üzerinde önceden belirlenmiş kısımlara dizilmişlerdir. İplikler bu kılavuzların enine doğrultuda ileri ve geri hareket ettirilmesiyle ilmek haline getirilirler. Bunun sonucunda verev doğrultuda ikinci bir tabaka oluşur. Bu şekilde değişik doğrultularda pek çok katman üretilebilir. Kalınlık doğrultusunda takviye edilecek iplikler, kılavuz rayı üzerine yerleştirilmiş her bir boru üzerinde bulunan iğneler vasıtasıyla dikilirler, iğneler ipliği lif katmanına kalınlık doğrultusunda batırarak dikim işlemini gerçekleştirirler.

Dikim işleminin lif hasarına neden olmasından dolayı, Yasui ve arkadaşları (Yasui ve ark. 1998) tarafından geliştirilen diğer bir teknikte, ana bir çerçeve üzerine kılavuz pimleri dizilmiştir. İplik, bu kılavuz piminin etrafına sarılarak, değişik doğrultularda ilmek oluşturur. Kılavuz pimlerinin yerleşiminden dolayı, iplikler arası boşluklar fazladır, bu boşluklardan, kalınlık doğrultusunda takviyelendirme yapacak iplik kolaylıkla geçirilebilmekte, böylelikle iplik hasarı minimuma inmektedir. İplikler kılavuz pimleri etrafında ilmek oluşturduktan sonra, kalınlık doğrultusunda yapıya dahil edilecek iplik atılmaktadır. Bu şekilde değişik doğrultularda ipliklerin yapıya dahil olması ile üç boyutlu yapı oluşturulur. Kamiya (Kamiya ve ark. 2000), bu prosesle üretilen biçimli yapılarda, konvensiyonel dikişli yapıya nazaran daha az lif hasarı meydana geldiğini belirtmiştir.

Üç boyutlu ortogonal dokusuz yüzey yapılar ise belli bir doğrultudaki iplik sisteminin örgü iğneleri vasıtasıyla yapıya batırılması, sonradan geri çekilmesi ve dokusuz yüzey yapının birleştirilmesi ile elde edilirler. Yapının düzlemindeki iplikler ve buna dik doğrultudaki iplik sistemi, örücü iğneler vasıtasıyla dikilirler. Şekil 1.13'de, ortogonal dokusuz yüzey yapının oluşumunu sağlayan bir sistem görülmektedir. Eksenel iplikler, düzlemindeki ipliklerden önce yerleşirler, bu yöntemle değişik şekillerde ve sıklıklarda yapılar elde edilebilmektedir. Şekil 1.14'de ise, tüp şeklinde ortogonal bir dokusuz yüzey yapının oluşum aşamaları gösterilmektedir (Ko 1989).



Şekil 1.13 Üç boyutlu ortogonal dokusuz yüzey yapısının oluşumu

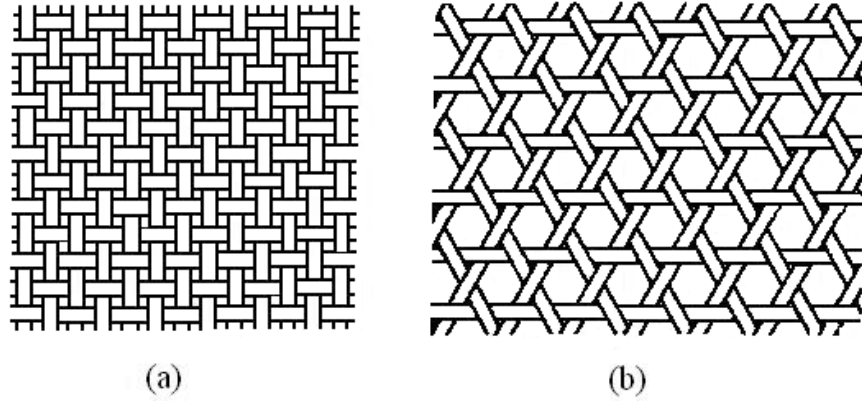


Şekil 1.14 Üç boyutlu tüp şeklinde ortogonal dokusuz yüzey yapısının oluşumu

1.4.5. Üç boyutlu dokuma yöntemi

Kompozit malzemelerde kullanılan dokuma kumaşlar iki boyutlu ve üç boyutlu yapılar olmak üzere ikiye ayrılırlar. İki boyutlu kumaşlar klasik dokuma yöntemleriyle elde edilirler ve bu yapılarda iplikler bir düzlemde birbirlerine dik iki doğrultuda yerleşmişlerdir. Bu yapılarda kalınlık doğrultusunda yani üçüncü doğrultuda iplik takviyesi yoktur. İki boyutlu dokuma kumaş yapısı olarak kompozit malzemelerde en

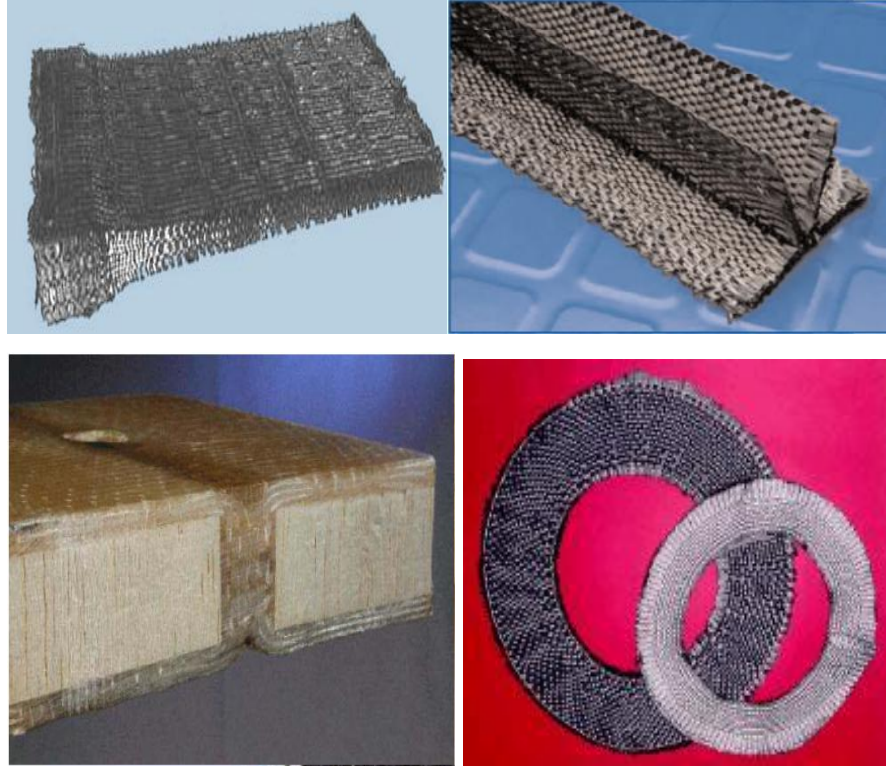
fazla bezayağı, dimi ve saten dokuma yapılar tercih edilmektedir. İki boyutlu dokuma yapılar genellikle anizotropik özellik göstermektedirler. Bu yapılarda, özellikle iplik yönlerine çapraz doğrultulardaki yüklemeler, iplikler arasında kayma meydana gelmesine neden olur. Yapı içinde iplikler arası bağlantılardan kaynaklanan kıvrımlardan dolayı genellikle yüksek modüllü ipliklerde kırılma ve buna bağlı olarak da mekanik performanslarında düşme meydana gelir. Bu nedenle iplikten kumaşa geçişte, iplik mukavemeti korunamaz ve belli oranlarda düşer. Materyalin kullanım sırasında özellikle yük taşıma doğrultusundaki ipliklerde kıvrımın düşürülmesi, materyalin modülünün bir miktar daha yüksek olmasına yardımcı olmaktadır. Yapının izotropisini (istenen doğrultularda kontrol edilebilir performans seviyesi veya diğer özelliklerin elde edilebilmesi) ve iplikler arasındaki kayma mukavemetini arttırmak için geliştirilen iki boyutlu 60 derece açı altında bağlantı yaptırılmış üç iplik sisteminden oluşan üç eksenli dokuma yapısı ve iki boyutlu klasik dokuma yapısı şekil 1.15'te gösterilmektedir (Adanur 1995). Ayrıca iki boyutlu kumaşlardan elde edilen kompozit malzemelerde katmanlar arası ayrılma (delaminasyon) riski daha fazla olup, ani darbe dirençleri de çok düşüktür (Kamiya ve ark. 2000).



Şekil 1.15 İki boyutlu klasik dokuma yapısı (a) ve üç eksenli dokuma yapısı (b)

İki boyutlu kumaşlardan farklı olarak, üç boyutlu dokuma yapılarda kalınlık doğrultusunda da (z doğrultusu) belirli bir boyut oluşturulmuştur. Lifler veya iplikler x, y ve z doğrultularında birbirleri ile bağlantı yapmaktadırlar. Yani istenilen form veya şekil, sonradan değil dokuma sırasında ve dokumadaki iplik hareketleri ve bağlantıları ile sağlanmaktadır. Bu da yapıyı bütünleşmiş (entegre olmuş) bir hale getirmektedir.

Şekil 1.16'da (Karahan ve Eren 2007) belirli bir kalınlığı ve şekli olan dokuma yapılara örnekler verilmiştir.



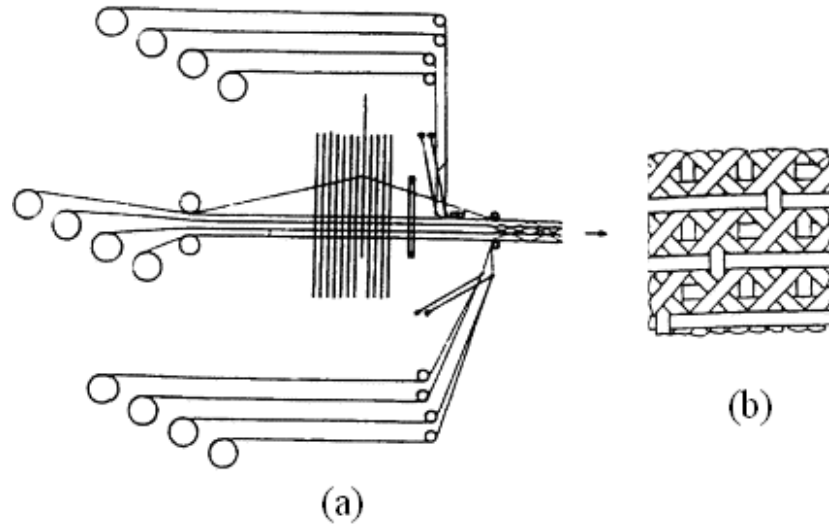
Şekil 1.16 Üç boyutlu dokuma yapılarına örnekler

1.4.5.1. Klasik dokuma tezgahlarının modifikasyonu ile üretilen üç boyutlu dokuma yapılar

Üç boyutlu dokuma yapıların üretiminde ilk çalışmalar, klasik iki boyutlu dokuma tezgahlarının modifiye edilerek üçüncü doğrultuda (z doğrultusu) ilave bir iplik sisteminin yapıya dahil edilmesi ile yapılmıştır. Bu tür tezgahlarda aynı anda üst üste çok sayıda ağızlık açılmaktadır. Bu sayede 17 kata kadar belli bir kalınlığı olan çok katlı kumaşların dokunabilmesi mümkün olabilmektedir. Bu teknikler ile açılı interlok dokuma yapıları üretilir (Ko 1989).

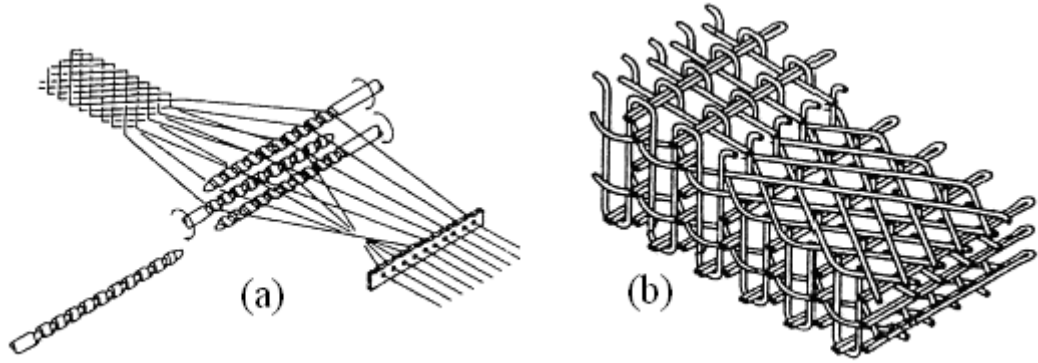
Klasik tezgahların modifiye edilerek, çok eksenli ve çok katlı dokuma yapıların üretimine elverişli hale getirilmesi konusunda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Curiskis ve arkadaşları (Curiskis ve ark. 1997), standart bir dokuma tezgahında kumaşın üst

ve/veya alt kısmına iplik konumlandırma çubuklarını (lappet çubukları) ilave etmişlerdir. Bu çubuklar iki doğrultuda da (aşağı-yukarı ve ileri-geri) hareket edebildiği için kumaşa çözümlü ipliği ilavesine izin verirler. Bu çubuklar aslında hareketli ve çok gözlü gücüler olarak nitelendirilebilirler (Şekil 1.17). Kalınlık yönünde (z yönünde) takviyelendirme amacıyla kullanılan iplik, çözümlü ve atkı iplikleri arasında bağlantı yaptırılarak tutulur. Bu çalışmada kalınlık doğrultusundaki ipliği yatıran mekanizmanın döner eleman olma ihtiyacı olduğu belirtilmiştir.



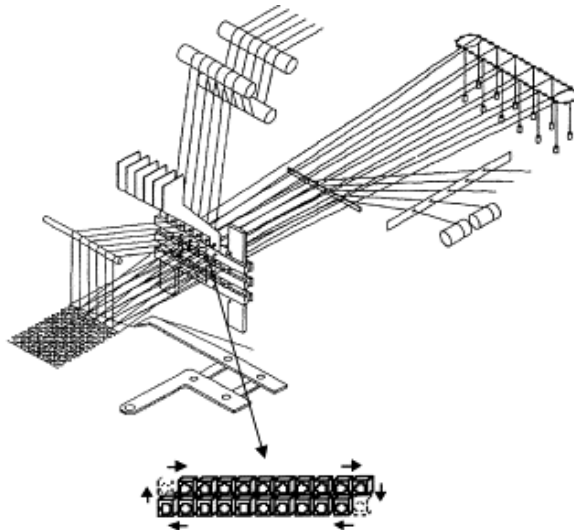
Şekil 1.17 İplik konumlandırma çubukları ile üç boyutlu dokuma yapısının üretimi (a) ve ortaya çıkan dokuma yapısı (b) (Kamiya ve ark. 2000)

Çok eksenli dokuma makinalarının geliştirilmesi için yapılan çalışmalardan biri de Anahara ve ark. (Anahara ve ark. 1991) tarafından gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.18). Bu araştırmacılar kalınlık yönünde yapıya dahil edilen ipliklerin vidalı şaft sistemi ile yerleştirildiği üç boyutlu beş eksenli dokuma tezgahı dizayn etmişlerdir. Vidalı şaft sistemi, verev yöndeki ipliklerin kumaşın tamamı boyunca yatırılmasına izin verir. İplik kumaşın diğer ucuna ulaşır ulaşmaz aşağı doğru katlanır ve ters yöne doğru hareket etmeye başlar. Fakat bu katlanmış yapıda homojenlik tam olarak sağlanamaz.



Şekil 1.18 Vidalı şaft sistemli üç boyutlu beş eksenli dokuma mekanizması (a) ve ortaya çıkan dokuma yapısı (b) (Anahara ve ark. 1991)

Yasui ve arkadaşları (Yasui ve ark. 1993), Anahara ve arkadaşlarının (Anahara ve ark. 1991) geliştirdiği üç boyutlu beş eksenli tezgahın verev iplik yerleşim mekanizmasını modifiye etmişlerdir. Bu çalışmada vidalı şaft sistemi yerine kılavuz bloklar kullanılmaktadır (şekil 19). Hem Anahara ve arkadaşlarının hem de Yasui ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda kalınlık boyunca iplik yatırılması iğneler vasıtasıyla gerçekleştirildiği için yüksek performanslı liflerde hasar meydana gelmektedir.

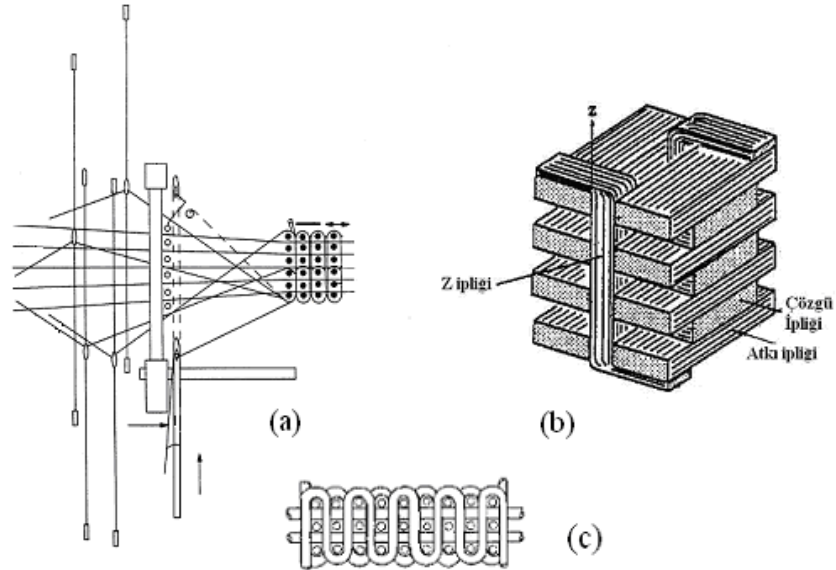


Şekil 1.19 Kılavuz bloklu şaft sistemli üç boyutlu dokuma mekanizması (Yasui ve ark. 1993)

1.4.5.2. Gerçek üç boyutlu dokuma teknikleri ile üretilen yapılar

Mohamed ve Bogdanovich (Mohamed ve Bogdanovich 2001) ile Dickinson ve arkadaşlarına (Dickinson ve ark. 1999) göre klasik dokuma tezgahlarının modifikasyonu ile üretilen üç boyutlu dokuma yapılar bir dokuma devrinde bir katmanın dokunması ile gerçekleşir. Bu nedenle bu yapılar gerçek üç boyutlu dokuma teknikleri olarak görülmemektedir. Bu araştırmacılar, gerçek bir üç boyutlu dokuma prosesinde birçok dolgu ipliğinin değişik doğrultularda bir seferde eş zamanlı olarak yapıya dahil olması ile gerçekleştirileceğini belirtirler.

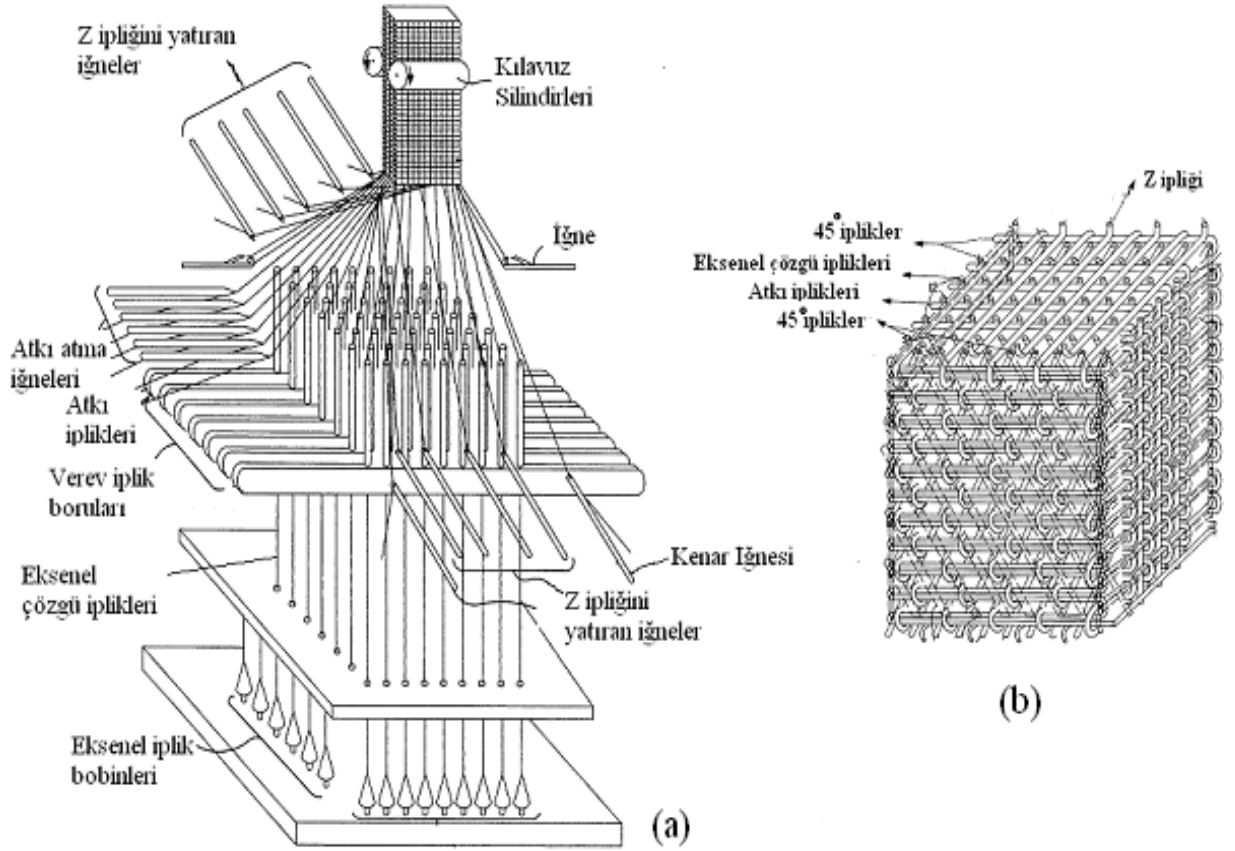
İpliklerin x, y ve z doğrultularında birbirlerine dik olarak konumlandığı ortogonal üç boyutlu dokuma yapılar konusunda çok eksenli dokuma makinesi ve tekniği Mohamed ve Zhang (Mohamed ve Zhang 1992) ile Mohamed ve Bilişik (Mohamed ve Bilişik 1995) tarafından geliştirilmiştir (Şekil 1.20 ve 1.21). Ortogonal dokuma yapılarda iplikler arasında bağlantı veya kıvrım yoktur veya minimum düzeydedir. Her bir doğrultuda yerleşen ipliklerin miktarı ile, izotropik veya anizotropik özelliklere sahip yapılar elde edilebilmektedir (Adanur 1995).



Şekil 1.20 Ortogonal üç boyutlu dokuma süreci (a) ve ortaya çıkan yapı (b ve c)

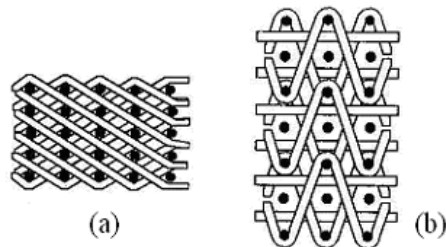
(Mohamed ve Zhang 1992)

Mohamed ve Bilişik (Mohamed ve Bilişik 1995) tarafından geliştirilen sistemde çözgü iplikleri bobinlerden iplik yatırma mekanizmasına kadar kadar borular içinde gelir. Dolayısıyla iplikler birbirlerine ve iplik yönlendiricilere sürtünmeden geldiği için performansları korunmuş olur. İplikleri yatıran mekikler istenen kesit şekline göre dikey ve yatay doğrultuda dizilirler. Verev iplikler de aynı çözgü ipliklerinde olduğu gibi borular içinde mekiklere gelip yapıya dahil edilirler. Atkı iplikleri ve kalınlık doğrultusundaki iplikler ise iğneler vasıtasıyla yapıya katılır. İğneler vasıtasıyla yapıya katılan iplik, çözgü ipliği ve verev iplik arasından bağlantı yapmadan geçip, bağlantıyı yüzeyde meydana getirir. Bu proses, kalınlık doğrultusunda herhangi bir katmanda liflerin ya da ipliğin yapıya dahil olabilmelerini sağlar. Mohamed ve Bilişik (Mohamed ve Bilişik 1995) tarafından geliştirilen sistemde, Mohamed ve Zhang (Mohamed ve Zhang 1992) tarafından geliştirilen sistemden farklı olarak, yapıya $\pm 45^\circ$ doğrultusunda iplikler takviye edilmiştir. Bu nedenle yapı 5 eksenli hale gelmiş ve performansı artmıştır (Şekil 1.21). Bu proseslerde önemli iki gelişme sağlanmıştır. İlki, bir dokuma devrinde çok yönlü atkı atılmasının otomatik hale getirilmesi, ikincisi, verev yönde lif/ipliklerin yapıya dahil edilmesinin otomatik hale getirilmesidir. Bu proseslerde, çözgü iplikleri ile dolgu ipliklerinin oluşturduğu katmanlar arasında bağlantı yoktur. Sadece z yönündeki iplikler yapının dış yüzeyinden az miktarda kıvrım olarak bağlantı yaptırılmışlardır. Bu da yüksek performanslı ipliklerin kırılmasını engeller. Ayrıca bu yöntemlerde, modifiye edilmiş klasik dokuma tezgahları ile üretilen üç boyutlu yapılarda olduğu gibi her bir katman bir dokuma devrinde değil, bütün dokuma katmanları eş zamanlı olarak meydana gelir. Bu sayede hem üretimin performansı artar hem de iplikler fazla hırpalanmaz.



Şekil 1.21 Çok eksenli üç boyutlu dokuma işlemi (a) ve ortaya çıkan yapı (b)
(Mohamed ve Bilişik 1995)

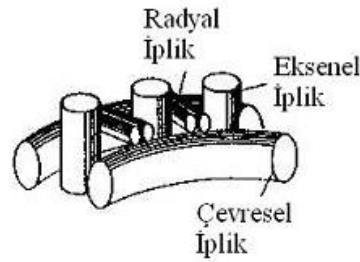
İpliklerin kalınlık doğrultusunda belirli bir açı altında kesiştikleri yapılar ise açılı interlok üç boyutlu dokuma yapılarıdır. Kalınlık doğrultusundaki iplikler şekil 1.22’de görüldüğü gibi, bu doğrultunun tamamı boyunca veya kısmi olarak bağlantı yapabilirler (Dickinson ve ark. 1999).



Şekil 1.22 Katmanların tüm kalınlık boyunca birleştirildiği açılı interlok yapı (a) ve katmanların kısmi olarak birleştirildiği açılı interlok yapı (Ko 1989)

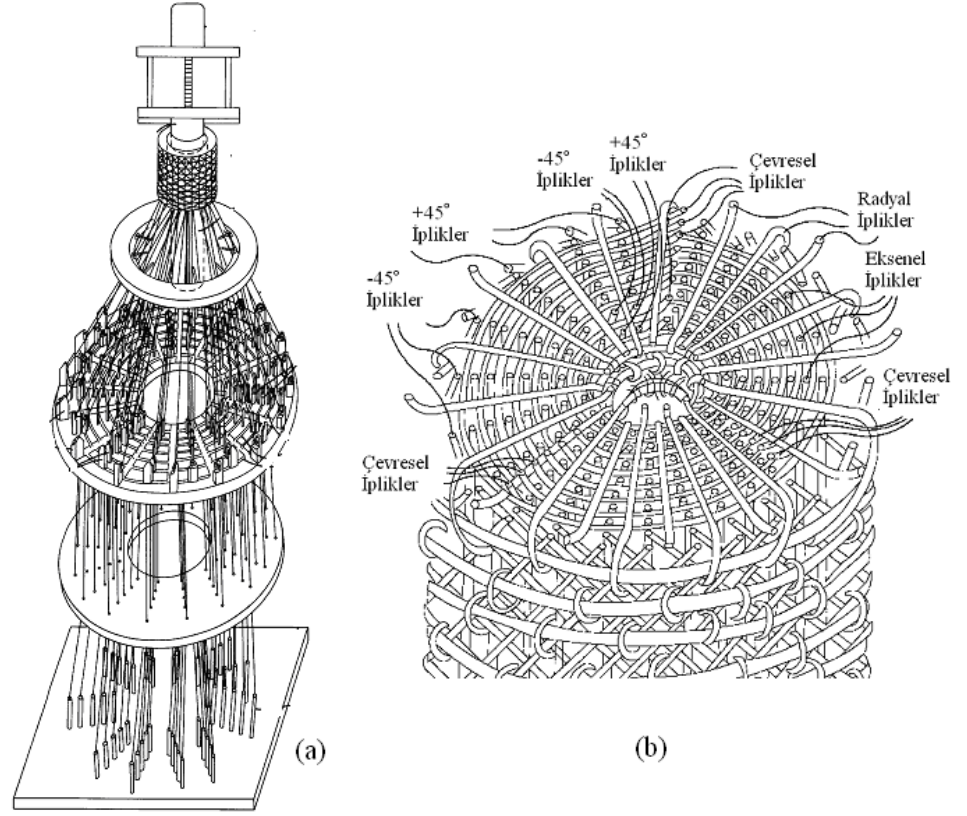
1.4.5.3. Dairesel üç boyutlu dokuma yapılar

Dairesel kesitli üç boyutlu dokuma yapısında, lifler veya iplikler aksel, radyal ve çevresel olarak yerleşirler. Çevresel iplikler helisel olarak, aksel iplikler ise mandrel eksenine paralel olarak sarılırlar (Şekil 1.23). İpliklerin birbirleriyle bağlantısının olmaması nedeniyle, iplikler reçine emdirilerek yapıyı oluştururlar ve mandrel üzerinde katılaştırılırlar (Adanur 1995).



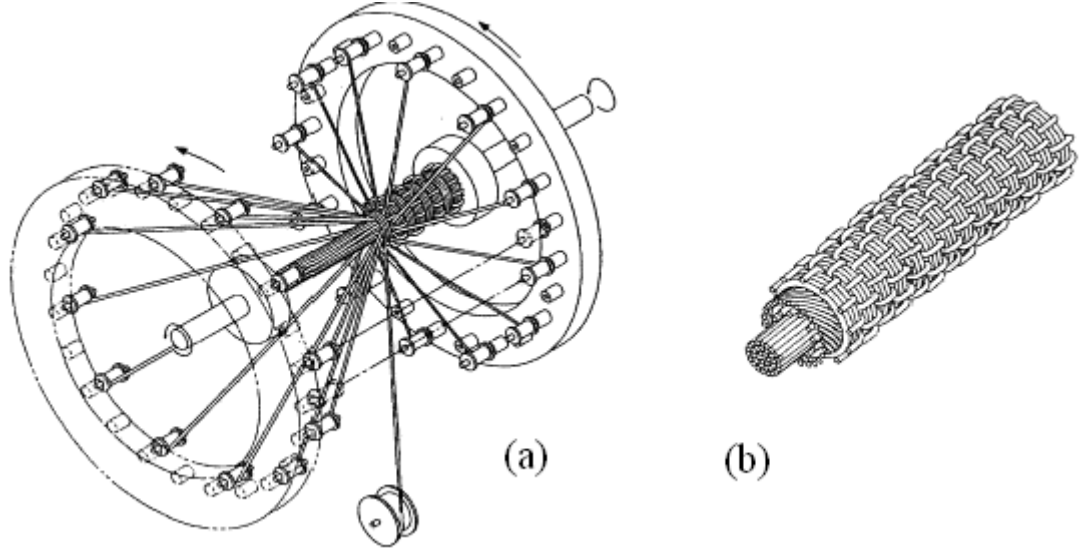
Şekil 1.23 Dairesel dokuma yapısında ipliklerin yerleşimi (Adanur 1995)

Bilişik (Bilişik 1999) tarafından geliştirilen üç boyutlu dokuma makinesi, orta kısmı boş veya tam dolu yuvarlak kesitli dokuma yapıları oluşturabilmektedir (Şekil 1.24). Yapıdaki aksel iplikler kumaş eksenine paraleldir. Çevresel iplikler ise kumaşın merkez ekseninin dışında konumlanır ve bir sonraki iplikle aksel iplikler arasında bağlantı yapar. Radyal iplikler de aynı şekilde bir sonraki iplikle aksel iplik tabakaları arasında bağlantı yapmaktadır. Bunun sonucunda, çevresel iplikler ve radyal iplikler, aksel ipliklerin etrafında bir dokuma katmanı oluştururlar.



Şekil 1.24 Üç boyutlu yuvarlak dokuma tezgâhı(a) ve meydana gelen dokuma yapısı(b)

Dairesel üç boyutlu dokuma konusunda diğer bir çalışma da Yasui ve arkadaşları (Yasui ve ark. 1992) tarafından yapılmıştır (şekil 1.25). Bu sistemde karşılıklı olarak çalışan dairesel iki disk üzerine iplik bobinleri yerleştirilmiştir. Karşılıklı çalışmadan dolayı bu sistem polar dokuma olarak adlandırılmaktadır. Bu makine 24 katman kalınlığına kadar olan kumaşları dokuyabilmektedir. Ancak bobinlerin değişim hareketi sırasındaki büyük ağızlık açma zorunluluğundan dolayı iplikler hasar görür.



Şekil 1.25 Polar dokuma tezgahı (a) ve meydana gelen dokuma yapısı (b)

1.4.5.4. Sandviç dokuma yapılar

Üç boyutlu dokuma kompozit yapıların bir türü olan sandviç dokuma takviyeli kompozit yapılar, üç boyutlu dokuma kumaş ile takviye edilmiş matriks ve elyaf/matriks sisteminin mukavemetini arttırmayı amaçlayan orta kısım malzemesinden oluşur (Şekil 1.26).



z yönündeki bağlantı iplikleri ve poliüretan köpük reçine ile emprenye edilmiş yüzler

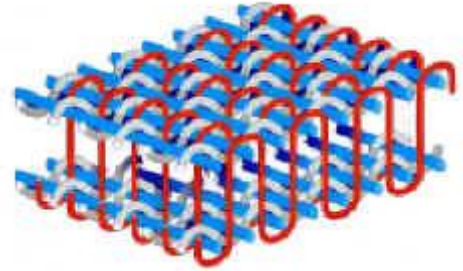
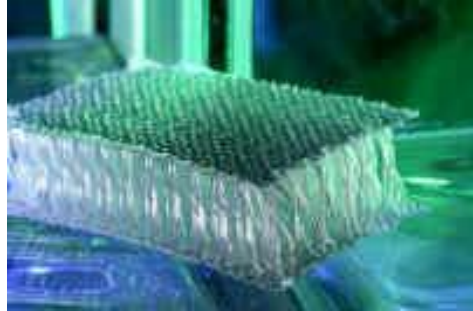
Şekil 1.26 Sandviç dokuma takviyeli kompozit yapı (Van Vuure ve ark. 2000)

Sandviç dokuma yapılar, alt ve üst yüzün eş zamanlı olarak dokunabildiği kadife dokuma tekniği ile üretilebilirler.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Üç boyutlu dokuma yapıların bir türü olan sandviç dokuma yapılar, alt ve üst yüzün eş zamanlı olarak dokunabildiği kadife dokuma tekniği ile %100 E tipi cam elyafı kullanılarak üretilmektedir (Şekil 2.1). Cam elyafı, alkali oranı düşük E camının 5-20 mikron çaplarında devamlı proses ile ince lifler halinde çekilmiş türüdür. Düşük alkali oranı nedeniyle E camı elyafının elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre oldukça iyidir. Maksimum alkali içeriği %2 olan E camı elyafı yüksek dayanım özelliği gösterir (<http://www.camelyaf.com.tr>,2009). E camı elyafından elde edilen ipliğin dokunması ile de üç boyutlu dokuma yapısı meydana gelir. Yapı içerisindeki çözgü ipliğinin numarası 2700 denye iken, atkı ipliğinin numarası 5640 denyedir.



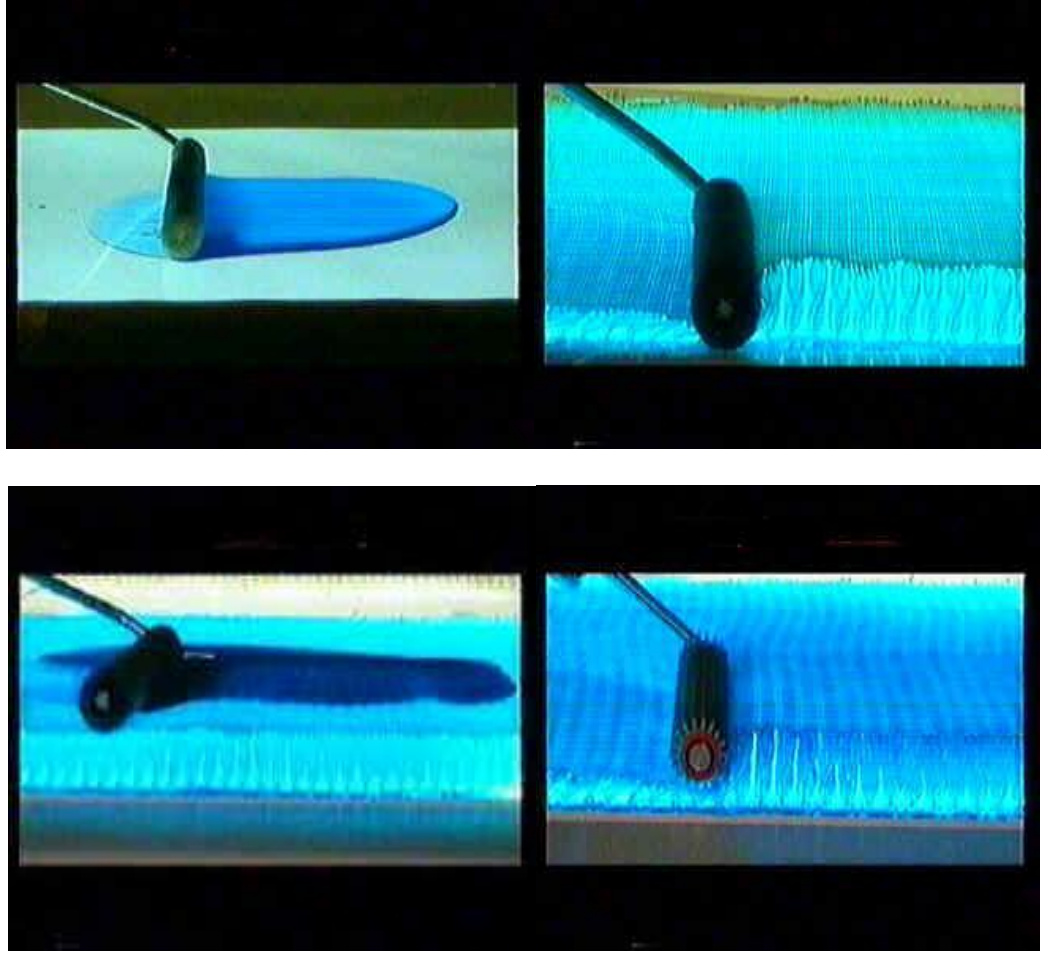
Şekil 2.1 Kadife dokuma tekniği ile ortaya çıkan üç boyutlu dokuma yapısı
(<http://www.parabeam.nl>,2009)

Matrisi oluşturan reçinenin temel fonksiyonu, yapının bütünlüğünü ve rijitliğini sağlamaktır. Çalışmamızda kullandığımız reçine, $1,044 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğundaki Bisfenol-A epoksi bazlı vinil ester reçinedir. Sertleştirici olarak ise %2 oranında %50'lik metil etil keton peroksit, hızlandırıcı olarakta %0,2 oranında %6'lık kobalt naftalat kullanılmıştır. Vinilester reçineler sahip oldukları kimyasal yapılarından dolayı üstün kimyasal dayanım ve mekanik özelliklere sahiptirler, bu yüzden de polyester reçinelere göre daha iyi sonuçlar vermektedirler. Vinilesterlerin özel yapısı, ester gruplarının hidrolizini engelleyerek, zincir uçlarından tam olarak kürlenebilmesine

olanak sağlamaktadır. Bundan dolayı da asit ve bazlara karşı yüksek direnç göstermektedirler. Ayrıca vinilester reçinelerde daha az polar grup olduğu için hem suya hem de hidrolitik etkenlere karşı polyester reçinelere göre daha dayanıklı bir yapıdadırlar. (<http://www.poliya.com.tr>,2009).

İki yüz arasına sistemin mukavemetini arttırmak için yerleştirilen orta kısım malzemesi sert poliüretan köpüktür. Poliüretan köpük, $1,08 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğundaki poliöl ile $1,23 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğundaki izosiyanatın reaksiyonu sonucunda meydana gelir. (<http://www.kimteks.com.tr>,2009).

Üç boyutlu dokuma kompozit yapıları oluşturmak için el yatırma tekniği kullanılmıştır. Öncelikle sertleştirici ve hızlandırıcı ile belirlenen oranlarda bir araya getirilen vinilester reçinenin %40'ı kalıp yüzeyine yayılmış, ardından üzerine üç boyutlu dokuma kumaş yerleştirilmiş ve atkı doğrultusunda rulolama yapılmıştır. Daha sonra da sertleştirici, hızlandırıcı ve reçine karışımının geri kalan %60'ı kumaşın üst yüzeyine uygulanmış ve tekrar rulolanarak işlem sonlandırılmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 El yatırma tekniğinin uygulama aşamaları (<http://www.parabeam.nl/>,2009)

El yatırma tekniği ile üretilen kumaş/reçine kombinasyonundan oluşan kompozit yapı katılaştıktan sonra orta kısım malzemesi ile bir araya getirilebilmesi için, iç yüzeyine kalıp ayırıcı uygulanmış kalıba yatırılmış ve poliüretan köpük uygulaması yapılmıştır. Yapılan bu işlemden poliol/isosiyanat karıştırma oranı 100/120 olarak alınmıştır. Poliüretan köpük oluşurken hacmi hızla artar ve kalıp içerisinde yürür yani ilerler ve kalıbı doldurur. Yürümenin ve kabarmanın hızı belirli bir noktaya kadar artar. Bu ana kadar geçen zaman iplikleşme süresidir. İplikleşme süresi reaksiyon boyunca açık bir kaptaki test edilebilir. Reaksiyon süresince köpüğe ince bir çubukla dokunur ve çekerseniz malzeme iplik iplik çubuğa yapışarak uzar. Bu sürede polimerik bağlar oluştuğundan lif lif bir görüntü gözlemlenir. İplikleşme süresinden sonra hacim artış hızı azalır ve malzeme oluşarak reaksiyonun büyük bir kısmı sonlanır. Bu işlem

sırasındaki kabarma zamanı 18-35 sn, iplikleşme zamanı 140-175 sn, yükselme zamanı ise 215-265 sn arasında değişir. Bu değerler 3000 d/dak hızla dönen bir mekanik karıştırıcı tarafından kabartılan numunelerden elde edilmiştir (<http://www.kimteks.com.tr>,2009).

2.2. Yöntem

2.2.1. Çekme mukavemetinin ölçümü

Üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozit numunelerin çekme mukavemetleri ve modüllerinin belirlenebilmesi için testler, 100 kN'luk yük hücresine sahip INSTRON 5582 cihazında (Şekil 2.3) ASTM D 638M standartlarına uygun olarak atkı ve çözgü yönlerinde yapılmıştır. Ancak malzemenin üç boyutlu olması nedeniyle test sırasında sorun yaşanmaması için tutucu kısımların çapında standarda göre değişiklik yapılmıştır.



Şekil 2.3 Instron 5582 test cihazı

Çekme mukavemeti ve modülü aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır (Geier 1994).

$$\sigma = \frac{F}{wt} \quad (2.1)$$

Denklemdaki σ , çekme mukavemeti (MPa); F , maksimum yük (N); w , numune genişliği (mm); t ise numune kalınlığı (mm) değerleridir.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}; \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (2.2)$$

Denklemdaki E , çekme modülü (MPa); ε , kopma uzama oranı; l , başlangıçtaki numune uzunluğu (mm), Δl ise kopma uzama miktarı (mm) değerleridir.

2.2.2. Eğilme mukavemetinin ölçümü

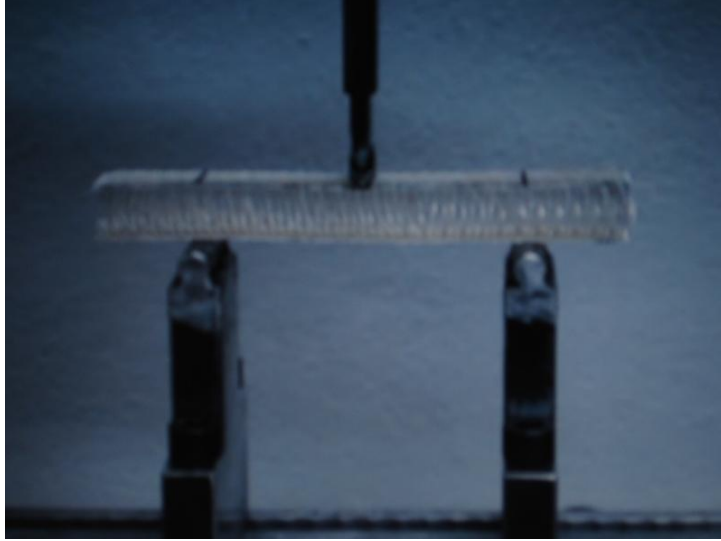
Üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozit numunelerin eğilme mukavemetleri ve modüllerinin belirlenebilmesi için testler, ASTM 1 D7 90 standartlarına göre, atkı ve çözümlü yönlerinde, 4301 Instron cihazında şekil 2.4'de görülen üç noktalı eğilme test düzeneği kullanılarak yapılmıştır. Numunelerdeki ani darbe dayanımlarının araştırılması için düşük hızlı ağırlık düşürme yöntemi kullanılmıştır. Numuneler üzerine, 1 kg ağırlığında, 45 mm çapında küresel uçlu ağırlıklar 1 m yükseklikten 1 ve 2 kez düşürülmüştür. Üç noktalı eğilme testi ile darbeli numunelerin eğilme mukavemetleri bulunarak, darbesiz ve darbeli numuneler karşılaştırılmıştır.

Eğilme mukavemeti ve modülü aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır (Geier 1994).

$$\sigma = \frac{3 * F * l}{2 * w * t^2} \quad (2.3)$$

$$E = \frac{m * l^3}{4 * w * t^3} \quad (2.4)$$

Denklemlerdeki σ , eğilme mukavemeti (MPa); E , eğilme modülü (MPa); F , maksimum kuvvet (N); l , numune uzunluğu (mm); w , numune genişliği (mm); t , numune kalınlığı (mm); m : $\tan \alpha$, yük-uzama eğrisinin elastik bölgeye ait eğimidir.



Şekil 2.4 Üç noktalı eğilme test düzeneği

2.2.3. Ani darbe mukavemetinin ölçümü

Üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozit numunelerin ani darbe mukavemetleri ve kırılma için gerekli enerji miktarları charpy testi ile belirlenmiştir. Charpy darbe testi, yatay ve basit kiriş halinde iki mesnete yaslanan bir numuneye bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılmasıyla meydana gelen çok eksenli gerilmeler etkisiyle numunenin kırılması için gerekli enerjiyi belirleme işlemidir. Numunelerin ani darbe mukavemetleri, atkı ve çözümlerinde, DIN 53453 standartlarına uygun olarak, KSG-70 tipi charpy test cihazı (Şekil 2.5) ile bulunmuştur. Numuneler çentiksiz olarak test edilmişlerdir. Numunelerdeki ani darbe dayanımlarının araştırılması için düşük hızlı ağırlık düşürme yöntemi kullanılmıştır. Numuneler üzerine, 1 kg ağırlığında, 45 mm çapında küresel uçlu ağırlıklar 1 m yükseklikten 1 ve 2 kez düşürülmüştür. Charpy testi ile darbeli numunelerin kırılma enerjileri bulunarak, ani darbe mukavemetleri hesaplanmış, darbesiz ve darbeli numuneler karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.5 Charpy test cihazı

Charpy testi sonucunda ani darbe mukavemetleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Geier 1994).

$$K = \frac{A * 10^9}{w * t * l} \quad (2.5)$$

Burada K , ani darbe mukavemeti (J/m^3); A , kırılma enerjisi (J); l , numune uzunluğu (mm); w , numune genişliği (mm); t ise numune kalınlığı (mm) değerleridir. Kırılma enerjisi değeri Charpy test cihazından okunur.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

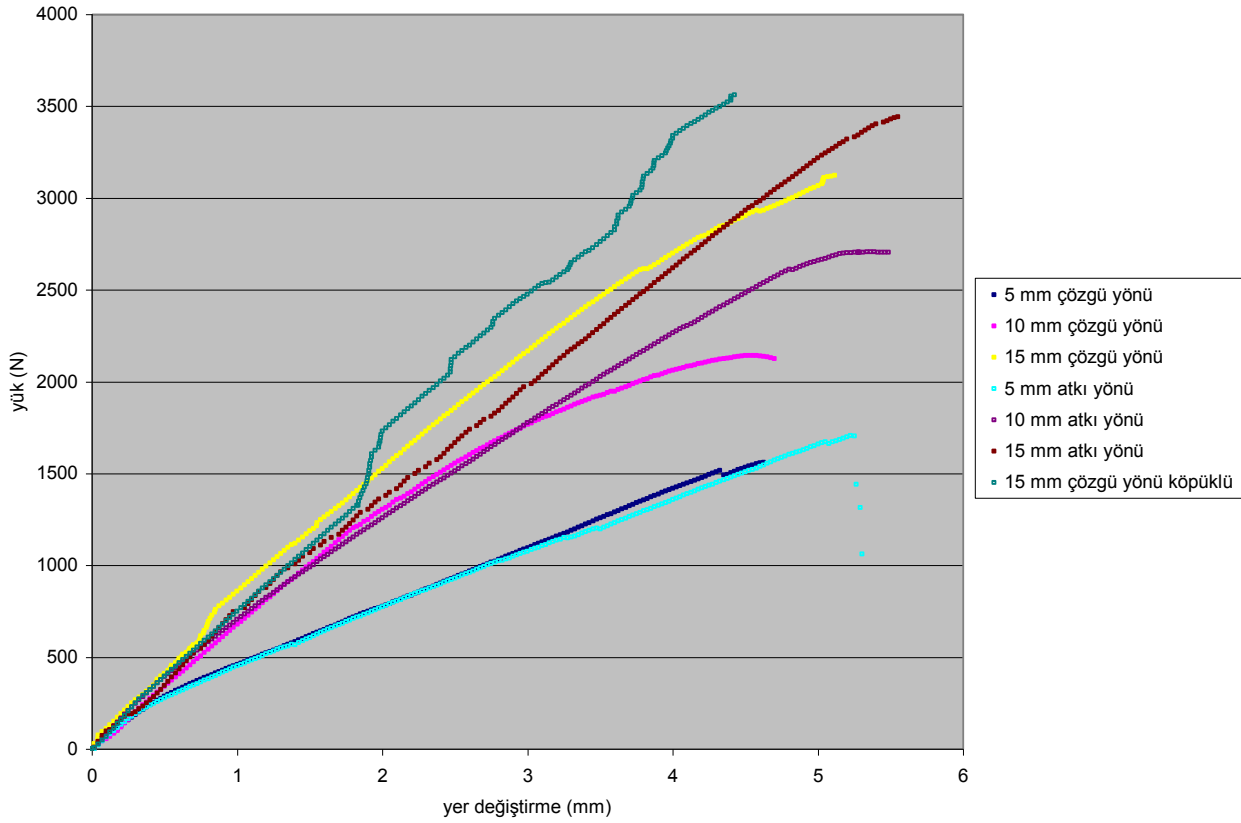
3.1. Çekme Mukavemeti

Çekme mukavemetinin saptanmasında kullanılan üç boyutlu sandviç dokuma takviyeli kompozit numuneler 150x20x5, 150x20x10 ve 150x20x15 mm olmak üzere üç farklı kalınlığa sahiptir. Üç boyutlu dokuma takviyeli kompozit malzemelerin, mekanik performansını belirlemek için yapılan çekme testlerinden elde edilen sonuçlar çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Üç boyutlu dokuma takviyeli kompozit yapıların mekanik özellikleri

	Maksimum Yük - F (N)	Çekme Mukavemeti- σ (MPa)	Uzama Oranı - ϵ	Çekme Modülü- E (MPa)
5 mm çözümlü yönü	1562 ± 62	15.62 ± 0.62	0.031 ± 0.001	512.5 ± 31.8
5 mm atkı yönü	1706 ± 68	17.1 ± 0.32	0.035 ± 0.001	514.3 ± 30
10 mm çözümlü yönü	2126 ± 101	10.63 ± 0.13	0.0313 ± 0.002	340 ± 39.5
10 mm atkı yönü	2706 ± 128	13.53 ± 0.17	0.0365 ± 0.004	370.7 ± 44
15 mm çözümlü yönü	3122 ± 151	10.4 ± 0.13	0.034 ± 0.004	305.88 ± 37
15 mm atkı yönü	3442 ± 155	11.5 ± 0.15	0.037 ± 0.0045	310.8 ± 39

Çizelgede de görüldüğü gibi, kalınlık artışına bağlı olarak uzama oranlarında artış gözlemlenmektedir. Çünkü dokuma yapısındaki iki yüzü birbirine bağlayan ipliklerin uzunluğu arttıkça, kompozit malzeme daha fazla uzayarak kopar ve kompozit malzemeleri koparmak için gereken maksimum yük de artar. Bu durumun, 5 mm kalınlığındaki numunelerde lif hacimsel oranının %55, 10 mm kalınlığındaki numunelerde %58, 15 mm kalınlığındaki numunelerde ise %60 olmasından ve kalınlık doğrultusundaki bağlayıcı ipliklerin mukavemete yaptığı katkıdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak çizelge 3.1’de de görüldüğü gibi kalınlık arttıkça çekme mukavemetleri ve çekme modülleri azalmıştır. Bu sonuçlar eşitlik 2.1 ve eşitlik 2.2 kullanılarak doğrulanmıştır.



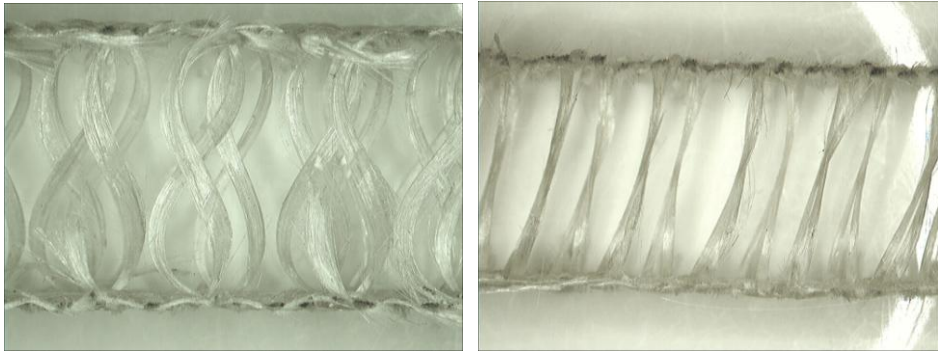
Şekil 3.1 Çekme testi yük-yer değiştirme sonuçları

Tüm kalınlık değerleri için yapılan testlerin sonuçları incelendiğinde, atkı yönünde yapılan testlerde elde edilen çekme mukavemeti değerlerinin çözgü yönünde yapılan testlerde elde edilen değerlere göre daha yüksek olduğu görülür (Şekil 3.1). Çünkü üç boyutlu dokuma kumaş yapısındaki atkı ipliğinin numarası 5640 denye iken çözgü ipliğinin numarası 2700 denyedir. Çözgü yönündeki sıklık atkı yönündeki sıklığa göre daha yüksektir ancak iplik numaralarındaki bu büyük fark, malzemenin atkı yönünde daha iyi bir mekanik performans göstermesini sağlamaktadır.

Kumaş/matriks sistemine poliüretan köpük ilavesiyle elde edilen kompozit malzemelerde, 15 mm kalınlığındaki sandviç dokuma yapılar kullanılmıştır ve çekme testleri çözgü yönünde yapılmıştır. Çünkü poliüretan köpüğün ilave edilebilmesi için hazırlanan kalıpta çözgü yönü esas alınmıştır. Yapılan çekme testleri sonucunda bu numunelerin kopması için gereken maksimum yük 3562 ± 169 N, çekme mukavemeti $11.87 \pm 0,15$ MPa, uzama oranı $0,029 \pm 0,001$ mm/mm ve çekme modülü $396,55 \pm 36$ MPa bulunmuştur. Bu değerler poliüretan köpük ilave edilmemiş, sadece kumaş/reçine

bileşimiyle oluşan yapı ile karşılaştırıldığında maksimum yük ve çekme mukavemetinin arttığı, uzama oranının ise azaldığı görülmektedir (Şekil 3.1). Çekme mukavemetindeki artış, hem lif hacimsel oranının %37, poliüretan köpük hacimsel oranının ise %38 olmasıyla, hem de köpük ilavesiyle elde edilen yapıda iki yüz arasındaki bağlantı ipliklerinin arasındaki boşlukların dolmasıyla açıklanabilir. Kumaş/reçine sisteminden oluşan yapıdaki reçinenin hacimsel oranı %40 iken, burada, kumaş/reçine/orta kısım malzemesi sisteminden oluşan yapıdaki reçinenin hacimsel oranı %25'e düşmüştür. Köpük ilavesiyle elde edilen yapı iki ayrı sistemin birleşimi gibi düşünülebilir. Kumaş ve reçineden oluşan birinci sisteme poliüretan köpük ilavesiyle elde edilen ikinci sistemde kalınlık doğrultusundaki (z doğrultusu) bağlayıcı ipliklerin arasındaki boşluklar dolduğu için yapı kompakt bir hal almıştır. Uzama oranının azalmasının nedeni ise kullandığımız köpüğün rijit yapısıdır. Çekme modülü ise çekme mukavemetindeki artışa bağlı olarak kumaş/reçine/orta kısım malzemesi sisteminde daha yüksektir.

Çözgü yönünde yapılan çekme testlerinde numuneler, bağlayıcı ipliklerin kalınlık doğrultusunda izlediği yola uyumlu olacak şekilde S çizerek; atkı yönünde yapılan çekme testlerinde ise I çizerek koparlar. Sandviç dokuma takviyeli kompozit numunelerinde kalınlık doğrultusundaki ipliklerden kaynaklanan, çözgü yönündeki 8 kesit görüntüsü ve atkı yönündeki I kesit görüntüsü şekil 3.2 de gösterilmiştir. Bu görüntüler 8 kat büyütme ile stereo mikroskoptan alınmıştır.



Şekil 3.2 Çözgü ve atkı yönlerindeki kalınlık görünümü

Çekme testi sonucunda kompozit numulerinde meydana gelen deformasyon şekil 3.3’ de gösterilmiştir. Bu görüntüler 10 kat büyütme ile stereo mikroskoptan alınmıştır .



Şekil 3.3 Çekme testi sonucu meydana gelen deformasyon

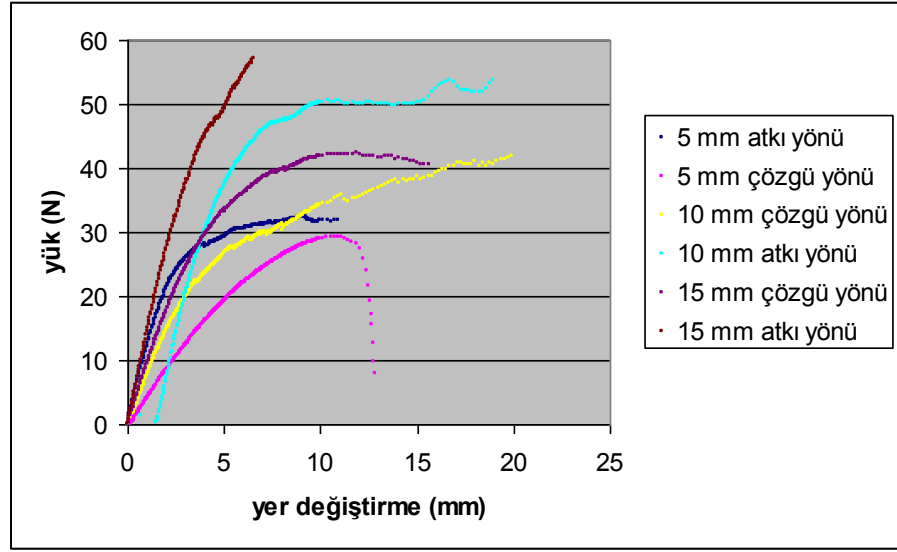
3.2. Eğilme Mukavemeti

Eğilme mukavemetinin saptanmasında kullanılan üç boyutlu sandviç dokuma takviyeli kompozit numuneler 100x20x5, 100x20x10 ve 100x20x15 mm olmak üzere üç farklı kalınlığa sahiptir. Üç boyutlu dokuma takviyeli kompozit malzemelerin düşük hızlı ağırlık düşürmeye tabi tutulmadan önceki ve sonraki mukavemet değerleri çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Üç boyutlu dokuma takviyeli kompozit yapıların eğilme testi sonuçları

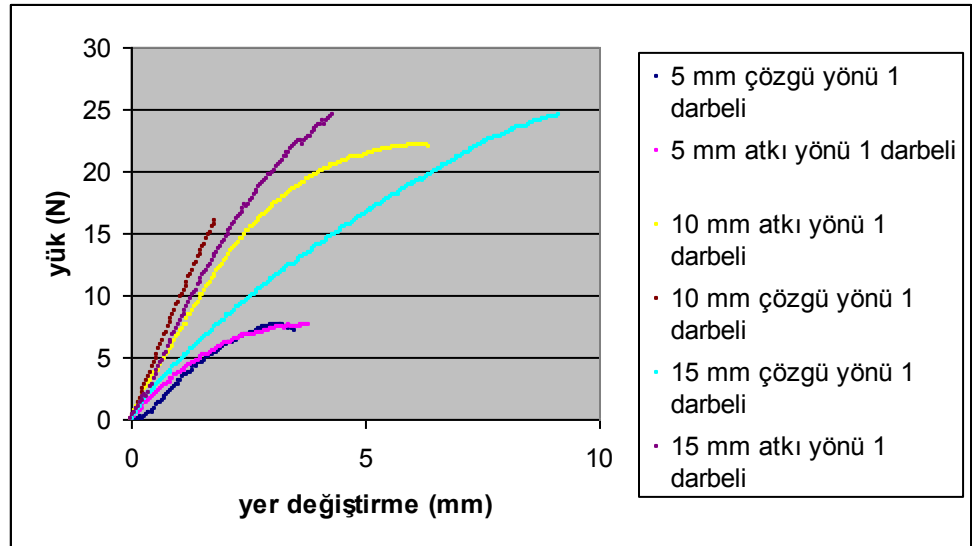
	Maksimum Kuvvet - F (N)	Eğilme Mukavemeti - σ (MPa)	Eğilme Modülü - E (MPa)
5 mm 8 kesit darbesiz	33 ± 1,83	10,26 ± 0,4	300.6 ± 17,2
5 mm 8 kesit 1 darbeleri	7,5 ± 0,42	2,34 ± 0,09	250.9 ± 16,5
5 mm 8 kesit 2 darbeleri	2,75 ± 0,28	0,89 ± 0,09	26.04 ± 1,12
5 mm I kesit darbesiz	33,1 ± 0,47	10,46 ± 0,25	1142 ± 60
5 mm I kesit 1 darbeleri	7,52 ± 0,11	2,5 ± 0,06	281.85 ± 15
5 mm I kesit 2 darbeleri	3,63 ± 0,05	1,15 ± 0,03	46.98 ± 2,5
10 mm 8 kesit darbesiz	40,5 ± 1,98	3,07 ± 0,19	66,65 ± 3,3
10 mm 8 kesit 1 darbeleri	16,1 ± 0,79	1,24 ± 0,08	33,42 ± 1,25
10 mm 8 kesit 2 darbeleri	11,4 ± 0,6	0,87 ± 0,06	17,2 ± 0,13
10 mm I kesit darbesiz	54,1 ± 2,6	4,06 ± 0,25	77,56 ± 3,5
10 mm I kesit 1 darbeleri	22,02 ± 1,1	1,27 ± 0,08	45.9 ± 2,2
10 mm I kesit 2 darbeleri	12,1 ± 0,6	1,01 ± 0,06	18,69 ± 0,23
15 mm 8 kesit darbesiz	42,5 ± 3,99	1,66 ± 0,43	15,6 ± 0,18
15 mm 8 kesit 1 darbeleri	24,4 ± 2,2	0,85 ± 0,3	9,78 ± 0,12
15 mm 8 kesit 2 darbeleri	20,9 ± 1,9	0,78 ± 0,015	9,525 ± 0,2
15 mm I kesit darbesiz	56,8 ± 6,6	2,35 ± 0,2	31,6 ± 1,1
15 mm I kesit 1 darbeleri	25,5 ± 3,6	1,08 ± 0,15	15,49 ± 0,33
15 mm I kesit 2 darbeleri	23,9 ± 1,75	0,99 ± 0,08	15,19 ± 0,42

Çizelgede de görüldüğü gibi kalınlık arttıkça yani dokuma yapısındaki iki yüzü birbirine bağlayan ipliklerin uzunluğu arttıkça, kompozit malzemelerin eğilmesi için gereken maksimum kuvvet de artar. Bu durumun, kalınlık arttıkça lif hacimsel oranının artmasından ve kalınlık doğrultusundaki bağlayıcı ipliklerin mukavemete yaptığı katkıdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak çizelge 3.2’de de görüldüğü gibi kalınlık arttıkça hem darbesiz hem de darbeleri numunelerde eğilme mukavemetleri ve eğilme modülleri azalmıştır. Bu sonuçlar eşitlik 2.3 ve 2.4 kullanılarak doğrulanmıştır.

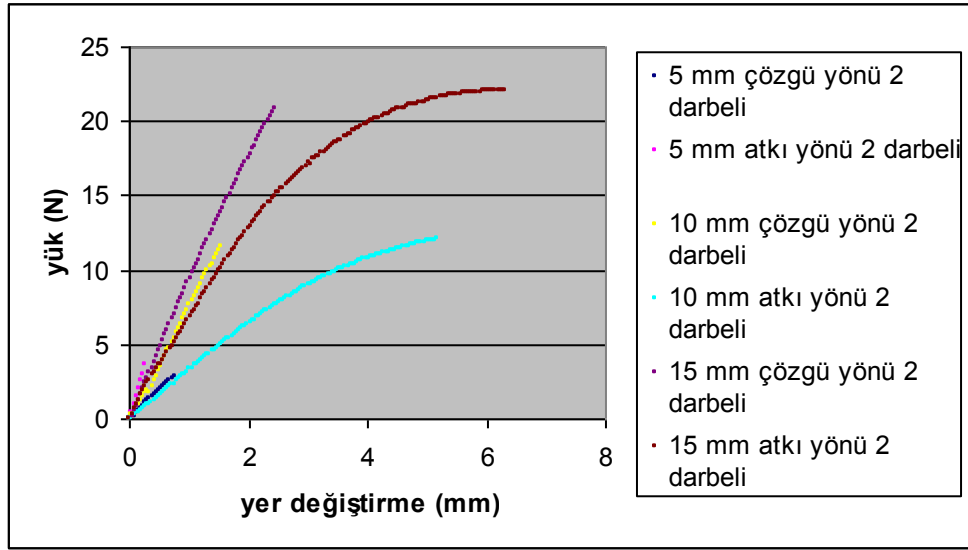


Şekil 3.4 Darbesiz numunelere ait üç noktalı eğilme testi yük-yer değiştirme sonuçları

Tüm kalınlık değerleri için darbesiz ve darbeli numunelerde yapılan testlerin sonuçları incelendiğinde, atkı yönünde yapılan testlerde elde edilen eğilme mukavemeti ve eğilme modülü değerlerinin çözgü yönünde yapılan testlerde elde edilen değerlere göre daha yüksek olduğu görülür (Şekil 3.4). Bu durumun atkı ipliği numarasının çözgü ipliği numarasından daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.5 1 darbeli numunelere ait üç noktalı eğilme testi yük-yer değiştirme sonuçları

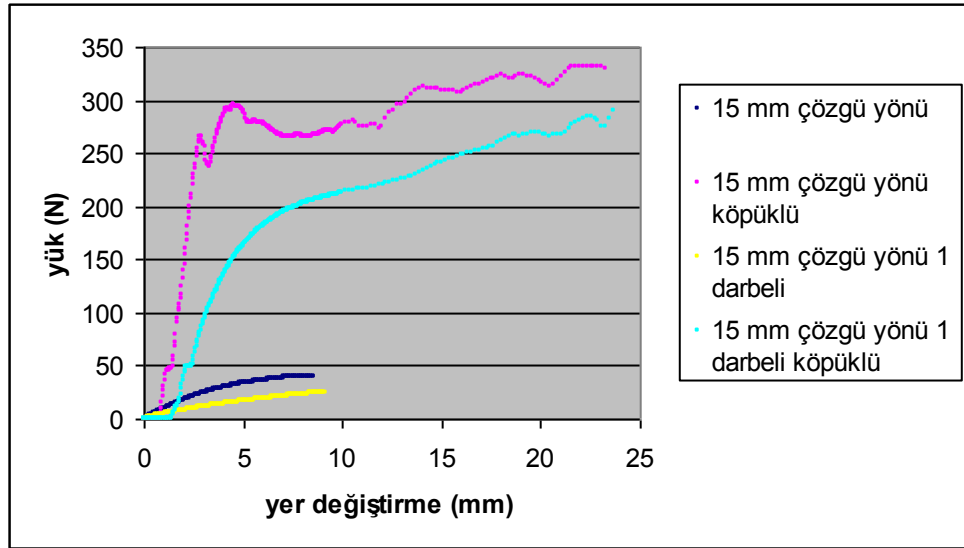


Şekil 3.6 2 darbeli numunelere ait üç noktali eğilme testi yük-yer değiştirme sonuçları

Kumaş/matriks sistemine poliüretan köpük ilavesiyle elde edilen kompozit malzemelerde eğilme sırasındaki maksimum kuvvet $332,1 \pm 24,3$ N, eğilme mukavemeti $9,58 \pm 1,01$ MPa, eğilme modülü ise $43,08 \pm 5,4$ MPa'dır. Darbe uygulandıktan sonra üç noktali eğilme testinden elde maksimum kuvvet $284 \pm 20,8$ N, eğilme mukavemeti $8,19 \pm 0,8$ MPa, eğilme modülü ise $26,15$ MPa'dır. Kumaş/reçine sisteminden oluşan kompozit malzemeye göre bu yapıda ani darbe sonucu eğilme mukavemeti kaybının daha da düşük olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 3.8). Köpük ilave edilen kompozit numunelerinde üç noktali eğilme testi sonucu meydana gelen deformasyon şekil 3.7' de gösterilmiştir.



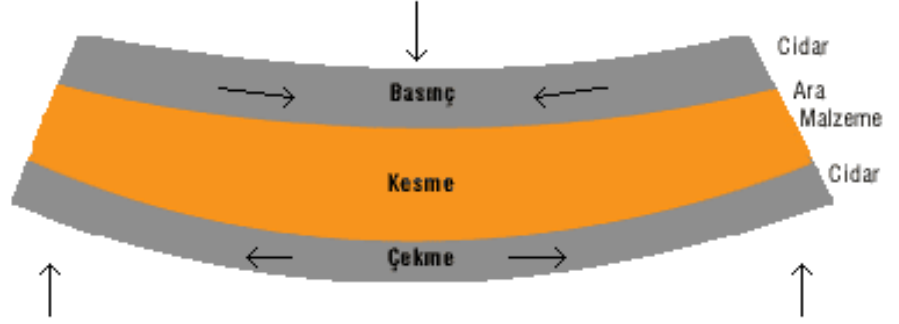
Şekil 3.7 Köpük ilave edilen kompozit numunelerinde üç noktalı eğilme testi sonucu meydana gelen deformasyon



Şekil 3.8 Kumaş/matriks sistemi ile kumaş/matriks/köpük sistemine ait üç noktalı eğilme testi yük-yer değiştirme sonuçları

Kumaş/reçine sistemine poliüretan köpük ilavesiyle elde edilen yapının eğilme mukavemeti kumaş/reçine sisteminden oluşan yapıya göre yaklaşık olarak 8 kat artış göstermiştir. Ağırlıkça hafif ve kalın ara malzemelerin yüksek mukavemetli ince cidarlara yapıştırılması ile elde edilen bu yapıyı I kirişi yapısına benzetebiliriz (Şekil 3.9). Bu yapıda cidarlardan birine yük uygulandığında, yük I kirişini oluşturan ara malzeme içinden kesme gerilmesi aracılığıyla geçerek, üst ve alt cidarlar arasında

bağlantı oluşturmaktadır. I kirişinin görevi eğilme dayanımı sayesinde ağırlıktan kaynaklanan yükü hafifletmektir.



Şekil 3.9 I kirişi yapısı

3.3. Ani Darbe Mukavemeti

Kırılma enerjisinin ve ani darbe mukavemetinin ölçülmesinde kullanılan üç boyutlu sandviç dokuma takviyeli kompozit numuneler 50x10x5, 50x10x10 ve 50x10x15 mm olmak üzere üç farklı kalınlığa sahiptir. Üç boyutlu dokuma takviyeli kompozit malzemelerin düşük hızlı ağırlık düşürmeye tabi tutulmadan önceki ve sonraki mukavemet değerleri çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Üç boyutlu dokuma takviyeli kompozit yapıların ani darbe mukavemeti testi sonuçları

	kırılma enerjisi (A) - J	ani darbe mukavemeti (K) – J/ m ³
5 mm 8 kesit	0.25	10 ⁷
5 mm 8 kesit 1 darbeli	0.15	6*10 ⁶
5 mm 8 kesit 2 darbeli	0.1	4*10 ⁶
5 mm I kesit	0.3	12*10 ⁶
5 mm I kesit 1 darbeli	0.175	7*10 ⁶
5 mm I kesit 2 darbeli	0.15	6*10 ⁶
10 mm 8 kesit	0.38	7.6*10 ⁶
10 mm 8 kesit 1 darbeli	0.25	5*10 ⁶
10 mm 8 kesit 2 darbeli	0.2	4*10 ⁶
10 mm I kesit	0.5	10*10 ⁶
10 mm I kesit 1 darbeli	0.3	6*10 ⁶
10 mm I kesit 2 darbeli	0.25	5*10 ⁶
15 mm 8 kesit	0.4	5.3*10 ⁶
15 mm 8 kesit 1 darbeli	0.3	4*10 ⁶
15 mm 8 kesit 2 darbeli	0.25	3.3*10 ⁶
15 mm I kesit	0.9	12*10 ⁶
15 mm I kesit 1 darbeli	0.45	6*10 ⁶
15 mm I kesit 2 darbeli	0.35	4.6*10 ⁶

Tüm kalınlık değerleri için yapılan testlerin sonuçları incelendiğinde, atkı yönünde yapılan testlerde elde edilen kırılma enerjisi ve ani darbe mukavemeti değerlerinin çözgü yönünde yapılan testlerde elde edilen değerlere göre daha yüksek olduğu görülür. Bu durumun atkı ipliği numarasının çözgü ipliği numarasından daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünölmektedir.

Çizelge 3.3’de de göröldüğü gibi kalınlık arttıka yani dokuma yapısındaki iki yüzü birbirine bağlayan ipliklerin uzunluğu arttıka, kompozit malzemelerin kırılması için gereken enerji de artar. Bu durumun, kalınlık arttıka lif hacimsel oranının artmasından ve kalınlık doğrultusundaki bağlayıcı ipliklerin mukavemete yaptığı katkıdan kaynaklandığı düşünölmektedir. Ancak çizelge 3.3’te de göröldüğü gibi kalınlık arttıka hem darbesiz hem de darbeli numunelerde ani darbe mukavemeti azalmıştır. Bu sonuçlar eşitlik 2.5 kullanılarak bulunmuştur.

Kumaş/matriks sistemine poliüretan köpük ilavesiyle elde edilen kompozit malzemelerde kırılma enerjisi 8.35 J, ani darbe mukavemeti $11 * 10^6 \text{ J/ m}^3$ ‘tür. Darbe uygulandıktan sonra elde edilen kırılma enerjisi değeri 5.85 J, ani darbe mukavemeti ise $7.8 * 10^6 \text{ J/ m}^3$ ‘tür. Kumaş/reçine sisteminden oluşan kompozit malzemeye göre, bu yapıda kalınlık doğrultusundaki bağlayıcı ipliklerin arasındaki boşluklar poliüretan köpük ilavesiyle dolduğu için ani darbe sonucu mukavemet kaybının daha da düşük olduğu gözlemlenir. Köpük ilave edilen kompozit numunelerinde charpy testi sonucu meydana gelen deformasyon şekil 3.10’da gösterilmiştir.



şekil 3.10 Charpy testi sonucu meydana gelen deformasyon

SONUÇ

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

* Kumaş/reçine sisteminden oluşan kompozit yapılarda kalınlık arttıkça dokuma yapısındaki iki yüzü birbirine bağlayan ipliklerin uzunluğu da artar. Bu nedenle kompozit malzemeler kalınlık arttıkça daha fazla uzayarak koparlar ve kopma esnasındaki maksimum yük de artış gösterir.

* Kumaş/reçine sisteminden oluşan kompozit yapılarda, kalınlık arttıkça yani dokuma yapısındaki iki yüzü birbirine bağlayan ipliklerin uzunluğu arttıkça kompozit malzemelerin eğilmesi için gereken maksimum kuvvet ve kompozit malzemelerin kırılması için gereken enerji artar. Bu durumun, kalınlık arttıkça lif hacimsel oranının artmasından ve kalınlık doğrultusundaki bağlayıcı ipliklerin mukavemete yaptığı katkıdan kaynaklandığı düşünülmektedir.

* Kumaş/reçine sisteminden oluşan kompozit yapılarda, atkı ipliğinin numarası çözgü ipliğinin numarasından yaklaşık olarak iki kat daha fazla olduğu için atkı yönünde yapılan testlerde elde edilen çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve ani darbe mukavemeti değerleri çözgü yönünde yapılan testlerde elde edilen değerlere göre daha yüksektir.

* Kumaş/reçine/orta kısım malzemesi sisteminden oluşan kompozit yapılarda, hem iki yüz arasındaki iplikler arası boşluklar dolduğu için hem de reçine hacimsel oranı azaldığı için mekanik özellikler gelişmiştir.

KAYNAKLAR

ADANUR, S. 1995. Textile Structural Composites. Wellington Sears Handbook of Industrial Textiles, Technomic Publishing Company, Switzerland.

ANAHARA, M., Y. YASUI., H. OMORI. 1991. Three Dimensional Textile and Method of Producing the Three Dimensional Textile. European Patent 0-426-878-A1.

BANNISTER, M.K., P.J. FALZON., K.H. LEONG. 1999. Review of Applications for Advanced Three Dimensional Fibre Textile Composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 30(12): 1445-1461.

BİLİŞİK, A.K. 1999. Multiaxial Three Dimensional Circular Woven Fabric. US patent no: 6129122.

BOGDONOVICH, A., D. MUNGALOV. 2002. Recent Advancements in Manufacturing 3-D Braided Preforms and Composites. Microcomposites–Nanocomposites UNSW, Sydney, Australia.

BRANDT, J., K. DRECHSLER., F.J. ARENDTS. 1996. Mechanical Performance of Composites Based on Various Three Dimensional Woven Fibre Preforms. Composites Science and Technology, 56(3): 381-386.

CURISKIS, J.I., A. DURIE., A. NICOLAIDIS., I. HERSZBERG. 1997. Developments in Multi Axial Weaving for Advanced Composite Materials. Proceedings of ICCM-11, 5: 86-96.

DICKINSON, L., M. MOHAMED., A.E. BOGDONOVICH. 1999. 3D Weaving: What, How and Where. Proceedings of the 44th SAMPE Symposium, Long Beach CA.

DMITRI, M., A. BOGDONOVICH. 2002. Automated 3D Braiding Machine and Method. US Patent No: 6439096.

GEIER, M.H. 1994. Quality Handbook for Composite Materials. Chapman&Hall, London.

HEARLE, JWS. 1995. Textile for Composites. Textile Horizons, 15:11-15.

HULL, D. 1981. An Introduction to Composite Materials. Cambridge Solid State Science Series, Cambridge University Press.

KAMIYA, R., B.A. CHEESEMAN., P. POPPER., T.W. CHOU. 2000. Some Recent Advances in the Fabrication and Design of Three Dimensional Textile Preforms: A Review. Composite Science and Technology, 60(1): 33-47.

KARAHAN, M., S. GÜNDOĞAN. 2007. Üç Boyutlu Tekstil Yapıları ve Üretim Metotlarındaki Gelişmeler Bölüm 1. Tekstil Teknoloji, 128: 72-86.

KARAHAN, M., R. EREN. 2007. Üç Boyutlu Tekstil Yapıları ve Üretim Metotlarındaki Gelişmeler Bölüm:2. Tekstil Teknoloji, 129: 106-127.

KİMBARA, M. 1996. Stepping Actuators. US Patent No: 5577436.

KO, F.K. 1989. Three Dimensional Fabrics for Composites. Textile Structural Composites, Elsevier.

KOSTAR, T.D., 1998. Analysis, Design, Fabrication and Performance of Three Dimensional Braided Composites. Ph.D. Dissertation University of Delaware Department of Mechanical Engineering.

LANGSTON, T.B., Y. QIU. 2003. The Tensile Properties of Three Dimensional Air Textured Aramid Reinforced Composites. American Society of Mechanical Engineers (ASME), Textile Engineering Division (TED), 3: 77-81.

Lİ, V., M. HAMMAD., A.E. SKİEKH. 1990. Structural Analysis of 3D Braided Preforms for Composites Part 1: The Four Step Preforms. Journal of the Textile Institute, 81(4).

Lİ, V., M. HAMMAD., A.E. SKİEKH. 1990. Structural Analysis of 3D Braided Preforms for Composites Part 2: The Two Step Preforms. Journal of the Textile Institute, 81(4).

LUNBLAD, W., C. DIXON., H. OLHER. 1995. U.S. Patent 5.456.974.

MAZUMDAR, S.K. 2002. Composites Manufacturing, Materials, Product and Process Engineering. New York. p.4-5.

MIRAVETE, A. 1999. 3-D Textile Reinforcements in Composite Materials. Woodhead Publishing Limited, England. p.1.

MOHAMED, M., Z. ZHANG. 1992. Method of Forming Variable Cross Sectional Shaped Three Dimensional Fabrics. US patent no:5085252.

MOHAMED, M., A.K. BİLİŞİK. 1995. Multi Layer Three Dimensional Fabric and Method of Producing. US patent no: 5465760.

MOHAMED, M., A.E. BOGDONOVICH. 2001. A New Generation of 3-D Woven Fabric Preforms and Composites. SAMPE Journal, 37(3): 8-17.

PHILIPS, N.L. 1989. Design with Advance Composite Materials. Springer-Verlag, The Design Council, Great Britain.

POCHIRAJU, K., T. CHOU. 1999. Three Dimensionally Woven and Braided Composites II: An Experimental Characterization. Polymer Composites, 20(6): 733-747.

SCARDINO, F. 1991. Advanced Sticking Technology. The Fifth Conference on Advanced Engineering Fibers and Textile Structure for Composites, NASA Conference Publication 3176 Fibertext.

TSUZUKI, M., M. KIMBARA., K. FUKUTA., A. MACHIİ. 1991. Three Dimensional Fabric Woven by Interlacing Threads with Rotor Driven Carriers. US Patent No: 5067525.

VAN VUURE, A.W., J.A. IVENS., I. VERPOEST. 2000. Mechanical Properties of Composite Panels Based on Woven Sandwich-Fabric Preforms. Composites-Part A:Applied Science and Manufacturing, 31: 671-680.

YASUİ, Y., M. ANAHARA., H. OMORİ. 1992. Three Dimensional Fabric and Method for Making the Same. US patent no: 5091246.

YASUİ, Y., M. ANAHARA., F. HORİ., Y. MİTA. 1993. Production of Three Dimensional Woven Fabric. Japanese Patent Publication 05106140.

YASUİ, Y., M. ANAHARA., F. HORİ., J. TAKEUCHİ, 1994. Method of Producing Fabric Reinforcing Matrix for Composites. US Patent No: 5327621.

YASUİ, Y., F. HORİ., M. AMANO., J. TAKEUCHİ., 1998. Method and Apparatus for Production of Three Dimensional Fabric. US patent no: 5772821.

ZİC, I., M.P. ANSELL., A. NEWTON., R.W. PRİCE. 1990. Mechanical Properties of Composite Panels Reinforced with Integrally Woven 3-D Fabrics. Journal Textile Institute, 81(4).

<http://www.camelyaf.com.tr>, Erişim tarihi: 15.05.2009. Konu: Cam Elyafı Takviyeli Kompozitler.

<http://www.kimteks.com.tr>, Erişim tarihi: 06.05.2008. Konu: Poliüretan Köpük Özellikleri.

<http://www.parabeam.nl>, Erişim tarihi: 08.01.2008. Konu: Sandwich Woven Fabric Manufactured by Hand Impregnation.

<http://www.poliya.com.tr>, Erişim tarihi: 09.03.2008. Konu: Vinilester Reçine Özellikleri.

<http://www.tifac.org>, Erişim tarihi: 01.01.2007. Konu: Composite Fabrication by Filament Winding.

ÖZGEÇMİŞ

Seda Gündoğan 15.09.1984 tarihinde Balıkesir’de doğdu. 2002 yılında Balıkesir Rahmi Kula Anadolu Lisesini bitirdi. 28.06.2006 tarihinde Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 26.01.2007 tarihinde Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı.

TEŞEKKÜR

Hayatımın her anında yanımda olan anneme ve babama; yüksek lisansımın her aşamasında desteğini esirgemeyen hocam Prof.Dr.Recep Eren'e; INSTRON cihazı, stereo mikroskop, dik bıçaklı kesim makinesi kullanımı ve test aparatlarının yapımı için destek veren Ermetal Şirketler Grubu adına Yönetim Kurulu Başkanı Fahrettin Gülener'e; üç boyutlu dokuma kumaşların temini ve testlerin gerçekleştirilmesindeki desteklerinden dolayı Doç.Dr.Mehmet Karahan'a; kalıp yapımı ve poliüretan köpük uygulaması için yardımlarından dolayı Modsan Firması adına Turgay Şenel'e ve poliüretan köpük temini için Kimteks'e teşekkür ederim.

