

ÜÇ BOYUTLU DOKUMA KUMAŞ TAKVİYELİ KOMPOZİT YAPILARIN ÇEKME MUKAVEMETİNİN ANALİZİ

*Seda GÜNDOĞAN**

*Recep EREN**

*Mehmet KARAHAN***

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 analiz edilmiştir. Öncelikle kumaş/vinilester reçine kombinasyonu ile oluşan kompozit yapıların çekme mukavemeti ve modülü tespit edilmiştir. Ardından da bu sisteme orta kısım malzemesi olan poliüretan köpüğün eklenmesi ile elde edilen kompozit yapıların çekme mukavemeti ve modülü tespit edilerek karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

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

Tensile Strength Analysis of Three Dimensional Woven Fabric Reinforced Composites

Abstract: In this paper, tensile 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 performances. Firstly, the tensile strength and tensile 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 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, tensile modulus.

1. GİRİŞ

Günümüzde otomotiv, inşaat, denizcilik ve şehir mobilyaları başta olmak üzere birçok sektörel uygulamada malzeme olarak kompozitlerin kullanıldığını görmekteyiz. Kompozit malzemeler düşük yoğunlukta yüksek rijitlik ve mukavemete, yüksek enerji absorpsiyon davranışına ve mükemmel bir yorulma performansına sahip oldukları için bu alanlardaki kullanımı gittikçe 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. Kompozit endüstrisinin gelişme eğilimi çeşitli bölgelerde farklılık göstermektedir. Türkiye pazarında ihracata yönelik üretim yapan sanayicilerin büyümesi ve ürün talepleri devam etmektedir. El yatırması uygulamalarının yanında makineleşme eğilimi de hızla artmaktadır. Almanya'da 2003 yılında yaşanan ekonomik kriz ve buna bağlı olarak otomotiv sektöründeki durgunluk Avrupa kompozit pazarını olumsuz etkilemiştir. Ancak 2003 yılı son çeyreği ve 2004 yılının üç aylık döneminde, takviyeli termoplastik malzeme uygulamalarındaki artışa paralel olarak otomotiv sektörü yeniden bir hareketlilik kazanmış ve sonraki dönemlerde de güçlü bir büyüme göstermiştir. Fransa ve İtalya ise otomotiv, elektronik ve havacılık sektörü uygulamaları ile Avrupa'da Almanya'dan sonraki

* Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Bursa.

** Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler M.Y.O Tekstil Programı, 16059, Görükle, Bursa.

en büyük kompozit endüstrisine sahip iki ülke olma konumunu korumaktadırlar. (<http://www.camelyaf.com.tr>,2009).

Kompozit malzemeler birbirlerinin zayıf yönlerini düzelterek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden oluşan sistemlerdir. 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 kullanılabilir 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.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozitler, ilk kez 40 yıl önce uçakların fren tertibatlarında kullanılan pahalı metal alaşımların yerine geçmesi amacıyla geliştirilmiştir (Mullen ve Roy 1972). Ancak yapılan araştırmalar 1980'lerin ortalarından itibaren, yani iki boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozitlerin kullanımından dolayı bazı problemlerle karşılaşılmasıyla birlikte hız kazanmıştır. Üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozitlerin ilk avantajı kompleks biçimli yapı üretimine izin vermesidir. Yapının bu üstünlüğü sayesinde kullanılacak malzeme miktarının, fire miktarının ve işlemlerin azalmasıyla üretim maliyeti düşer. Üç boyutlu dokumaların bir diğer avantajı da, iki boyutlu kumaşların üretiminde kullanılan dokuma tezgahlarında küçük modifikasyonların yapılmasıyla meydana getiriliyor olmasıdır. Bu durum da üretim maliyetini minimuma indirir. Ama geçen 10 yıl içerisinde kompleks şekiller için standart dokuma tezgahının modifiye edilmesiyle oluşan makineden daha yetenekli ve yüksek dokuma hızına sahip dokuma tezgahları geliştirilmiştir (Mouritz ve ark. 1999).

Üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozitlerin bir diğer önemli avantajı da yüksek darbe direncine sahip olmalarıdır (Lundblad ve ark. 1995). Chou'nun (Chou ve ark. 1992) açıklamalarına göre, hasarın başlaması için gereken darbe enerjisi karbon elyafından oluşmuş üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozitlerde, iki boyutlu olan yapılarla nazaran %60 daha fazladır. 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. 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. Açılı interlok dokuma yapısı, ipliklerin kalınlık doğrultusunda belirli bir açı altında kesiştikleri yapıdır. Kalınlık doğrultusundaki iplikler, bu doğrultunun tamamı boyunca veya kısmi olarak bağlantı yapabilirler (Dickinson ve ark. 1999). 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

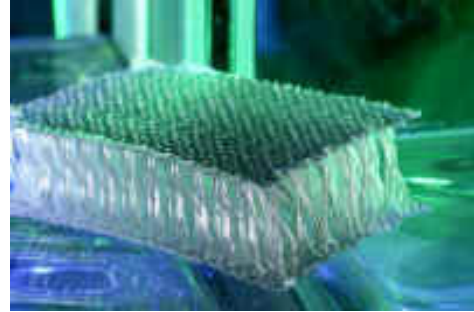
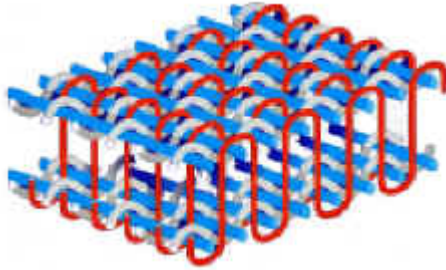
da aramid iplikler kullanılarak oluşturulan ortogonal üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozit malzemelerin çekme mukavemetleri analiz edilmiştir. Ortogonal dokuma yapılarında iplikler x, y ve z doğrultularında birbirlerine diktirler (Dickinson ve ark. 1999).

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 analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Literatürdeki sandviç dokuma takviyeli kompozitlerle yapılan çalışmalardan birinde bu yapıların hasar toleransı ve enerji absorpsiyon kapasitesi incelenmiştir. Bir başka çalışmada ise bası ve kayma mukavemetleri analiz edilmiştir. Bu çalışmada sandviç dokuma takviyeli kompozit yapılar çekme mukavemetleri açısından incelenmiştir. Çalışmada kullanılan poliüretan köpük malzemesi de daha önce yapılan çalışmalarda kullanılan malzemelerden farklı özelliklere sahiptir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

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. Bu dokuma yapısı alt ve üst yüzün eş zamanlı olarak dokunabildiği kadife dokuma tekniği ile %100 E tipi cam elyafı kullanılarak üretilmektedir (Şekil 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 ve kalsiyum alüminyum borosilikat içeren 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.

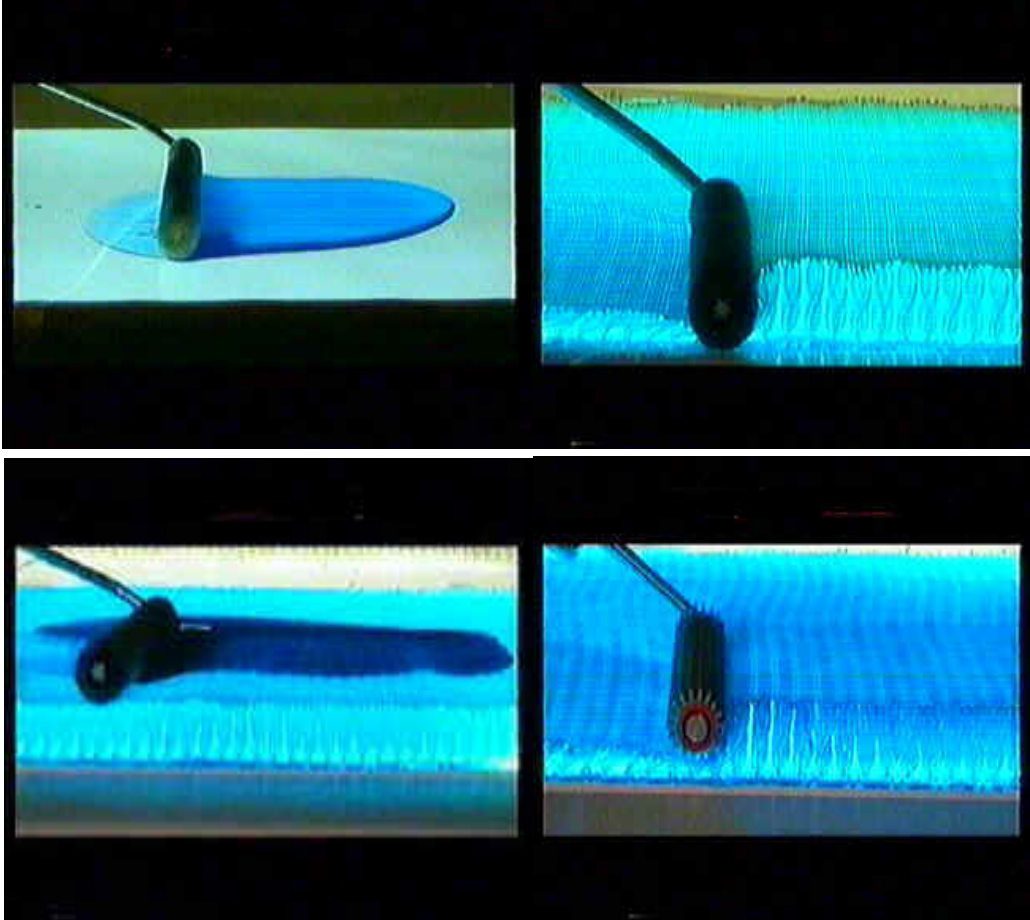


Şekil 1:
Kadife dokuma tekniği ile ortaya çıkan üç boyutlu dokuma yapısı
(<http://www.parabeam.nl/>,2009)

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 kürlenemesine 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 yerleştirilmış 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).



şekil 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 işlemde poliöl/isosiyanat karıştırma oranı 100/120 olarak alınmıştır. Poliüretan köpük oluşurken hacmi hızla artar ve kalıp içerisinde yürür yani ilerler ve kalıbı doldurur. Yürümenin ve kabarmasının hızı belirli bir noktaya kadar artar. Bu ana kadar geçen zaman iplikleşme süresidir. İplikleşme süresi reaksiyon boyunca açık bir kapta da 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 rpm hızla dönen bir mekanik mikser tarafından kabartılan numunelerden elde edilmiştir (<http://www.kimteks.com.tr>,2009). Kalıp içerisinde

yapılan poliüretan köpük uygulamasının ardından meydana gelen, üç boyutlu dokumaların özel bir türü olan sandviç dokuma takviyeli kompozit yapı şekil 3'te gösterilmiştir.

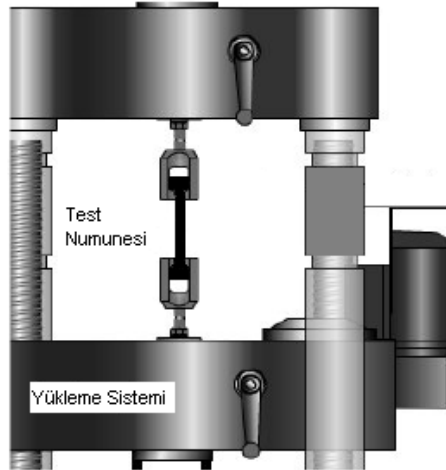


z yönündeki bağlantı iplikleri ve poliüretan köpük reçine ile emprenye edilmiş yüzler

Şekil 3:
Üç boyutlu dokuma takviyeli kompozit yapı
(van Vuure ve ark. 2000)

3.2. Yöntem

Üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozit numunelerin çekme mukavemetleri ve modüllerinin belirlenebilmesi için testler, 100 kN'luk yük hücreesine sahip INSTRON 5582 cihazında (Şekil 4) 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 4:
Instron cihazının simülasyonu

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

$$\sigma = F / wt \quad (1)$$

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

$$E = \sigma / \varepsilon ; \quad \varepsilon = \Delta l / l \quad (2)$$

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

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çalışmada 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 tablo I'de gösterilmiştir.

Tablo I. Üç boyutlu dokuma takviyeli kompozit yapıların mekanik özellikleri

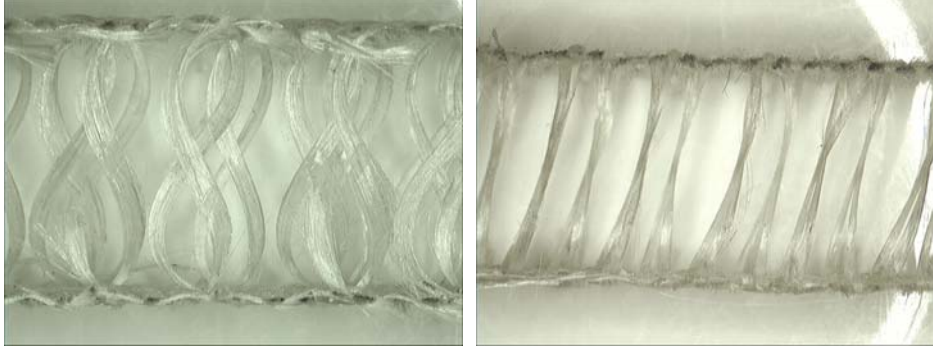
	Maksimum Yük - F (N)	Çekme Mukavemeti - σ (MPa)	Uzama Oranı - ϵ	Çekme Modülü - E (MPa)
5 mm çözgü yönü	1562 ± 62	15.62 ± 0.62	0.031 ± 0.001	512.5 ± 31.8
5 mm atkı yönü	1706 ± 68	17.1 ± 0.32	0.035 ± 0.001	514.3 ± 30
10 mm çözgü yönü	2126 ± 101	10.63 ± 0.13	0.0313 ± 0.002	340 ± 39.5
10 mm atkı yönü	2706 ± 128	13.53 ± 0.17	0.0365 ± 0.004	370.7 ± 44
15 mm çözgü 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

Tabloda da görüldüğü gibi, kalınlık artışına bağlı olarak uzama oranlarında artış gözlemlenir. 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 çekme mukavemeti bulunurken maksimum yük, numune kalınlığı ile genişliğinin çarpımına bölündüğü için, kalınlık arttıkça çekme mukavemeti azalmıştır. Kalınlık arttıkça, numunelerin MPa cinsinden çekme mukavemeti azalır, uzama oranı arttığı için çekme modülleri de azalmıştır.

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. 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 sağlar.

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, çekme modülü ise $396,55 \pm 36$ 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 görülür. 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 5'te gösterilmiştir. Bu görüntüler 8 kat büyütme ile stereo mikroskoptan alınmıştır.



*Şekil 5:
Çözü ve atkı yönlerindeki kalınlık görünümü*

Çekme testi sonucunda kompozit numularında meydana gelen deformasyon şekil 6'da gösterilmiştir. Bu görüntüler 10 kat büyütme ile stereo mikroskoptan alınmıştır.



*Şekil 6:
Çekme testi sonucu meydana gelen deformasyon*

5. 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, atkı ipliğinin numarası çözgü ipliğinin numarasından yaklaşık olarak iki kat daha fazla olduğu için atkı yönünde yapılan testlerde elde edilen çekme 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 maksimum yük ve çekme mukavemeti artar. Ancak poliüretan köpüğün rijit yapısından dolayı uzama oranı azalır.

6. TEŞEKKÜR

INSTRON cihazı, stereo mikroskop, dik bıçaklı kesim makinesi kullanımı ve test aparatlarının yapımı için Ermetal Şirketler Grubuna; kalıp yapımı için Modsan Firmasına ve poliüretan köpük temini için Kimteks'e verdikleri desteklerden dolayı teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. Brandt, J., Drechsler, K., Arendts, F.-J. (1996) Mechanical Performance of Composites based on various three dimensional woven fibre preforms, *Composites Science and Technology*, v 56, n 3, p.381-386.
2. Chou, S., Chen, H.C., Wu, C.C. (1992) BMI Resin Composites Reinforced with 3D Carbon-Fibre Fabrics, *Composite Science and Technology* 43, p.117-128.
3. Dickinson, L., Mohamed, M., Bogdanovich, A. (1999) 3D Weaving: What, How, And Where, 44th SAMPE Symposium, Long Beach CA.
4. Geier, M.H. (1994) *Quality Handbook for Composite Materials*, Chapman&Hall, London.
5. Langston, T.B., Qiu, Y. (2003) The Tensile Properties of Three Dimensional Air Textured Aramid Reinforced Composites, *American Society of Mechanical Engineers (ASME), Textile Engineering Division (TED)*, v:3, p. 77-81.
6. Lundblad, W., Dixon, C., Olher, H. (1995) U.S. Patent 5.456.974.
7. Miravete A. (1999) 3-D Textile Reinforcements in Composite Materials, Woodhead Publishing Limited, England.
8. Mouritz, A.P., Bannister, M.K., Falzon, P.J., Leong, K.H. (1999) Review of Applications for Advanced Three Dimensional Fibre Textile Composites, *Composites-Part A:Applied Science and Manufacturing*, v:30, n:12, p. 1445-1461.
9. Mullen, C.K., Roy, P.J. (1972) Fabrication and Properties Description of Avco 3D Carbon-Carbon Cylindrical Composites, *National SAMPE Symposium*, 11-13 April, Los Angeles, California, USA.
10. Pochiraju, K., Chou, T. (1999) Three Dimensionally Woven and Braided Composites II: An Experimental Characterization, *Polymer Composites*, v:20, n:6, p. 733-747.
11. Van Vuure A.W., Ivens J.A., Verpoest I. (2000) Mechanical Properties of Composite Panels Based on Woven Sandwich-Fabric Preforms, *Composites-Part A:Applied Science and Manufacturing*, v:31, p. 671-680.
12. Zic I., Ansell M.P., Newton A., Price R.W. (1990) Mechanical Properties of Composite Panels Reinforced with Integrally Woven 3-D Fabrics, *J. Text. Inst.*, 81 No. 4.
13. <http://www.camelyaf.com.tr>, 2009.
14. <http://www.kimteks.com.tr>, 2009.
15. <http://www.parabeam.nl/>, 2009.
16. <http://www.poliya.com.tr>, 2009.

Makale 31.03.2009 tarihinde alınmış, 13.07.2009 tarihinde düzeltilmiş, 14.07.2009 tarihinde kabul edilmiştir. İletişim Yazarı: R. Eren (erecep@uludag.edu.tr).