

Üç Boyutlu Dokuma ve Örme Kumaşlar ile Takviye Edilen Kompozit Malzeme Yapıları

Fatih ZEYBEK

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Yalvaç Teknik Bilimler MYO, Isparta, Türkiye
fatihzeybek@sdu.edu.tr*

ÖZET

Tekstil takviyeli kompozit malzemeler teknolojik gelişmelere paralel olarak son yıllarda hızlı bir gelişim sürecine girmiştir. Tekstil takviyeli kompozit malzeme yapılarının gelişmesi ile birlikte bu kompozit malzeme yapıları birçok sektörde kullanılmaktadır. Uçak sanayi, otomotiv sanayi, uzay ve roket sanayi, tıp, makine sanayi, denizcilik ve yapı endüstrisi gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Kompozit malzemeler içinde önemli bir araştırma konusu haline gelen tekstil takviyeli üç boyutlu kompozit malzemeler giderek önem kazanan bir ürün grubunu oluşturmaktadır. Bu çalışmada dokuma ve örme yapıları ile elde edilen kompozit malzeme yapıları konusunda yapılan çalışmalar ele alınmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Üç Boyutlu Tekstiller, Kompozit Malzemeler, Üç Boyutlu Dokuma ve Örme Kumaşlar, Tekstil Takviyeli Kompozitler.

Composite Materials Reinforced with Three Dimensional Woven and Knitted Fabrics

ABSTRACT

In parallel with technological developments, in recent years textile reinforced composite materials have entered a rapid development process. With the development of textile reinforced composite materials structures, composite material constructions are also used in the sector. They have a wide range of applications such as aircraft industry, automotive industry, space and rocket industry, medicine, machinery industry, maritime and building industry.

Textile-reinforced three-dimensional composite materials, which have become an important research topic for composite materials, are increasingly emphasizing and creating a product group. In this study, studies on composite materials obtained by weaving and knitting structures are studied.

Keywords: Three Dimensional Textiles, Composite Materials, Three Dimensional Weaving and Knitting Fabrics, Textile Reinforced Composites.

GİRİŞ

Kompozit malzemeler temel olarak iki veya daha fazla malzemenin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan ve meydana geldiği malzemelerden farklı özelliklere sahip yeni tür malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Jones, 1999).

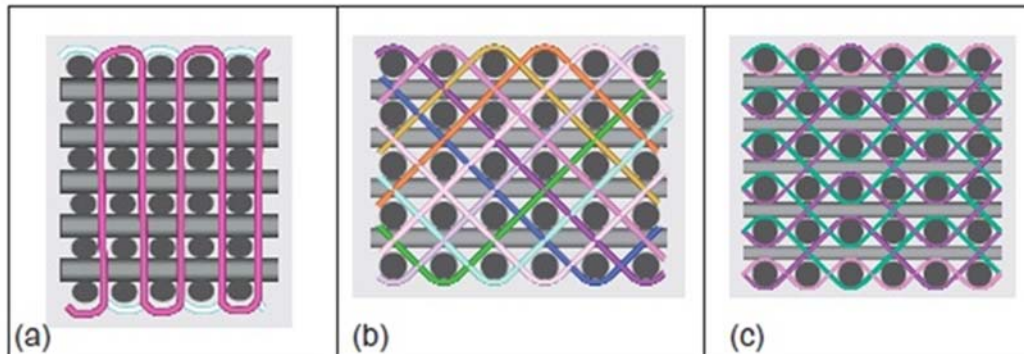
Kompozit malzemeler, gözle görülebilen ölçekte iki veya daha fazla bileşene sahip malzemelerdir. Bileşenlerin dağılımı ve geometrisi, malzemenin bir veya daha fazla özelliğini en iyi hale getirmek için seçilmektedir. Açık bir ifade ile matris olarak adlandırılan forma sahip malzemelerin tekstil formundaki lif ile takviye edilerek güçlendirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Ogin, 2016).

Tekstil takviyeli kompozit malzemeler, nispeten düşük maliyetli uygulamalar alanlarda kullanılarak, mühendislik uygulamaları alanında yıllarca düşük bir uygulama sahip olmaktadır. Tekstil takviyeli kompozit malzemeler için sürekli bir ilgi olmasına rağmen son kırk yıl boyunca ve özellikle 1980 yılından beri bu ilgi daha fazla artmaktadır. Bu dönemde tekstil takviyesinin kullanım alanının kapsamını genişletme arzusu araştırmalarda artan bir etkiye sahiptir. Tekstil takviyesinin metal teknolojilerinin yerini alabileceği bir dizi yeni uygulamaya ile kompozit teknolojilerde tekstil takviyesi gelişmeye başlamıştır. Bunun nedeni, tekstil takviyeli kompozit malzemelerin (TRCM) düşük üretim maliyetleri ve gelişmiş işlenebilirlik potansiyeli göstermesi, gelişmiş mekanik özelliklere sahip olmasıdır. 2010 yılında, dünyadaki en büyük kompozit materyallerin üretimi Avrupa (küresel üretimin yaklaşık % 20), ABD (yaklaşık % 22) ve Çin (yaklaşık % 28) arasında paylaşılmaktadır. Geriye kalan yaklaşık % 29 üretimi ise dünyanın diğer ülkeleri oluşturuyordu. Bu pazarlarda, birçok farklı türevli tekstile dayalı kompozit malzemelerin kullanılmasına olan ilgi artmaya devam etmektedir (Ogin, 2016).

Tekstil takviyeli kompozit malzemeler içinde üç boyutlu oluşturulan örme ve dokuma kumaş yapılar önemli bir yer oluşturmaktadır. Düz örme makinelerinde ve dokuma makinelerinde yapılan modifiye çalışmaları ile teknolojik gelişmeler devam etmektedir.

ÜÇ BOYUTLU DOKUMA KUMAŞ YAPILARI

Üç boyutlu kompozit malzemelerde üç çeşit mevcuttur. Dikey, açılı interlok ve tabakalı yapıdır. Bunların iplik kesit görünüşü Şekil 1'de gösterilmektedir. Lif yapısı arasındaki farklılık, kalınlık yönü (bağlayıcı) plakaların diğer yapıları birbirini bağlanma biçimiyle ilgilidir (Ogin, 2016).

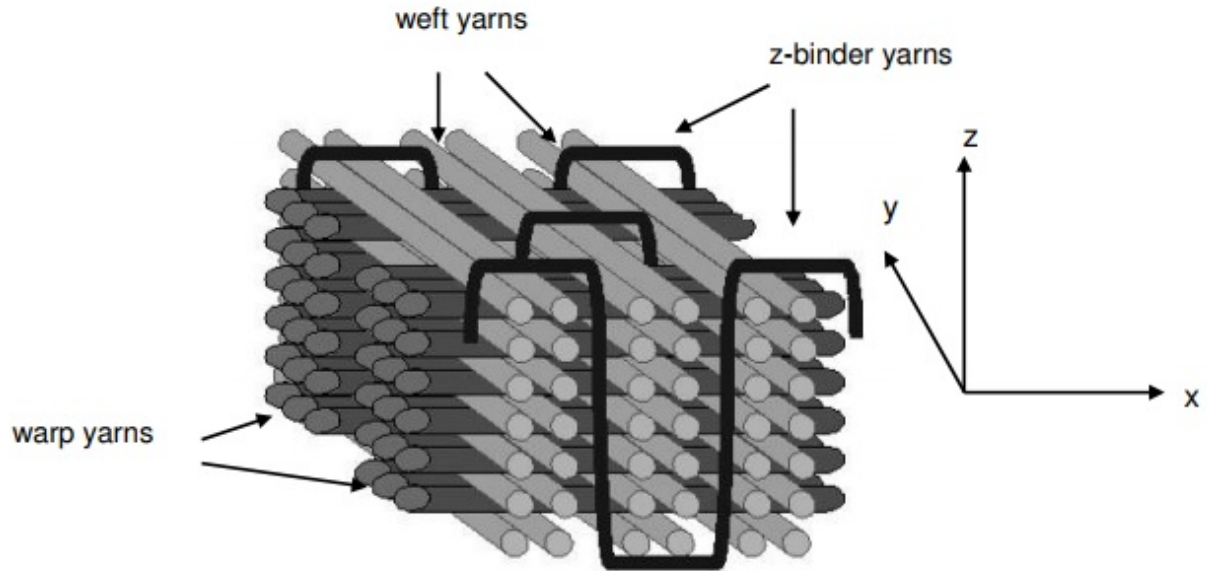


Şekil 1. (a) Dikey (orthogonal) ; (b) Açılı interlok (angle interlock); (c) Tabakalı yapı (layer-to-layer structure) (Ogin, 2016)

Üç boyutlu dokuma kompozit yapıların bir türü olan sandviç dokuma takviyeli kompozit yapılar, üç boyutlu dokuma kumaş ile takviye edilmiş matris ve elyaf/matris 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 (Gündoğan ve ark., 2010).

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. 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 (Gündoğan ve ark., 2010).

Dikey 3D fiber yapısının ideal bir şematik çizimi Şekil 2’de gösterilmektedir. Bu yapıda, Z-birleştirici iplikler, ön şekil düzlem-içi çözgü ve atkı ipliklerine 90°’dir. Bu yapı 3D dokuma bileşiminde en yaygın kullanılan kumaş türüdür (Shoshanna, 2007).

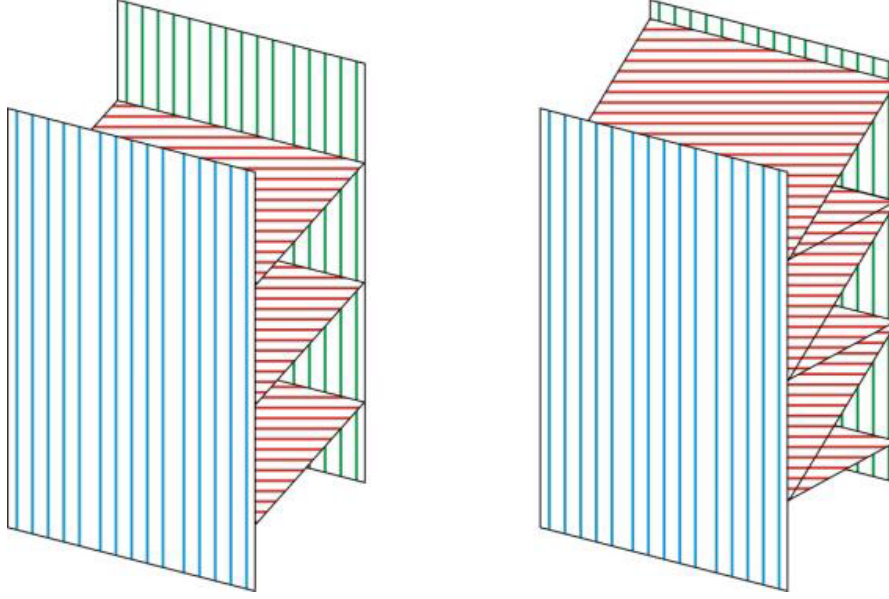


Şekil 2. Üç boyutlu dikey fiber yapısının ideal şeması (Shoshanna, 2007)

ÜÇ BOYUTLU ÖRME KUMAŞ YAPILARI

Düz Örme Makineleri İle Üretilen Üç Boyutlu Düz Örme Kumaş Yapıları

Düz örme makinalarında üretilebilen üç boyutlu örme yapıları, düşük ağırlıklı kompozit malzeme imalatında kullanılan örme kumaş yapılarıdır. Şekil 3’de iki dış yüzeyin, bu yüzeylerle aynı anda örülmüş bir 3. yüzey tarafından U veya V şeklinde bağlanması gösterilmektedir (Ünal, 2014).



Şekil 3. Kompozit malzeme için ihtiyaç duyulan kumaş geometrisi (Ünal, 2014)

Monofilament Bağlantılı Üç Boyutlu Düz Örme Kumaşlar

Ön ve arka iğne yataklarında birbirinden bağımsız olarak üretilen iki kumaşın monofilament ipliklerle bağlanmasıyla 3 boyutlu kumaşlar üretilmektedir. Bu teknik, yuvarlak, çözümlü ve düz örme makinalarında uygulanmaktadır. Bu tip kumaşlar spor ayakkabıları, yeni tip yataklar, araba koltukları süngerlerin yerine ve dalgıç elbiseleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. İki kumaş yüzeyi arasındaki maksimum açıklık kumaş özelliklerinin belirlenmesinde çok önemlidir ve başta iğne yatakları arasındaki mesafe olmak üzere farklı parametrelere bağlıdır (Ünal, 2014).

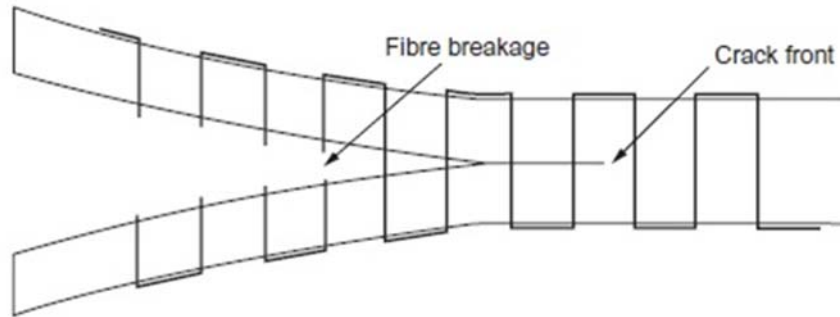
Yeni tip çözümlü örme makinalarında (Karl Mayer HDR 6-EL HighDistance®) ön ve arka iğne yatakları hareket ettirilerek birbirlerine yaklaştırılıp uzaklaştırılabilir ve iki iğne yatağı arasındaki mesafe 20 ila 65 mm arasında ayarlanabilmektedir. Bu imkân sayesinde monofilament bağlantılı örme kumaşlar için en fazla seçeneği çözümlü örme makinaları sunmaktadır. Buna karşın çözümlü örme makinalarında 3 boyutlu ve şekillendirilmiş kumaş imalatı, iğnelerin toplu hareketi nedeniyle çok sınırlı olmaktadır. Düz örme makinaları ise tek iğne hareketi prensibiyle çalıştılarından dolayı kumaşa şekil verebilme kabiliyetinde sınırsızdır fakat iki iğne yatağı arasındaki mesafe sabittir ve makina yapısı itibarıyla değiştirilemez. Bu nedenle iki kumaş dış yüzeyi arasındaki açıklığın, sabit iğne yatağı mesafesine rağmen, farklı parametrelerle değiştirilebilmesi için araştırmalar yapılmalıdır. Bu parametrelerden en önemlileri örgü yapısı, monofilament iplik kalınlığı, monofilamentlerin dış yüzeylerle yaptıkları bağlantı açısı ve elastan iplik kullanımınıdır. Bu amaçla yapılan başlangıç aşamasındaki araştırmalarda iki yüzey arasındaki açıklığın 30 mm'ye ulaşıldığı Şekil 4'de gösterilen kumaşlar üretilmektedir (Ünal, 2014).



Şekil 4. Monofilament bağlantılı üç boyutlu kumaş (Ünal, 2014)

Üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozitler, ilk kez 40 yıl önce uçakların fren tertibatlarında kullanılan pahalı metal alaşımların yerine geçmesi amacıyla geliştirilmiştir. 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 karmaşık biçimli yapı üretimine izin vermesidir. Yapının bu üstünlüğü sayesinde kullanılacak malzeme miktarının, fire miktarının ve işlemlerin azalmasıyla üretim maliyeti düşürmektedir. Üç boyutlu dokumaların diğer avantajı, iki boyutlu kumaşların üretiminde kullanılan dokuma tezgâhlarında küçük modifikasyonların yapılmasıyla meydana getiriliyor olmasıdır. Bu durum da üretim maliyetini minimuma indirmektedir. Ama geçen 10 yıl içerisinde karmaşık şekiller için standart dokuma tezgâhının modifiye edilmesiyle oluşan makineden daha yetenekli ve yüksek dokuma hızına sahip dokuma tezgâhları geliştirilmektedir (Mouritz ve ark., 1999).

Tanzawa ve arkadaşları (1999), katmanlı yapının sertliği, küçük hacimli üç boyutlu dikey kumaş kompozit için altı kat arttığını bulmuşlardır. İki boyutlu kompozit malzemelerdeki çatlağın yayılmasına karşı direnç, malzemenin tabakaları arasındaki çatlağın büyümesi ile sonuçlanır. Üç boyutlu dokuma kumaş kompozit malzemelerde bu direnç, kalınlık yönündeki setlerin kırılması ile tamamlanmaktadır. Şekil 5'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5. Üç boyutlu dokuma kompozit malzemelerde kalınlık yönü Z-tows bağlantı ile delaminasyon çatlağının görünüşü (Tanzawa ve ark., 1999)

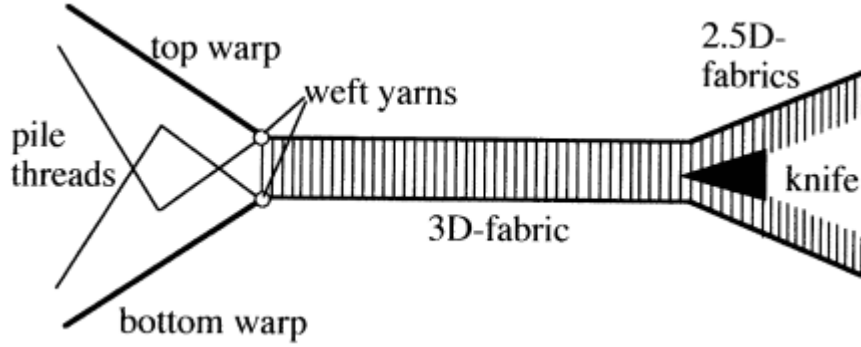
Fishpool ve arkadaşları (2013), üç boyutlu örgü kumaş tipinin yüksek delaminasyon direnci değerlerine sahip olduklarını bulmuşlardır.

Chou ve arkadaşları (1992) tarafından yapılan çalışmada ise hasarın başlaması için gereken darbe enerjisi karbon elyafından oluşmuş üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozitlerde, iki boyutlu olan yapıya nazaran % 60 daha fazla olduğu göstermişlerdir. Çalışma sonunda, üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozitlerde darbe direncinin iyi

olmasının nedeninin, kalınlık doğrultusundaki ipliklerin darbe yükü altında katmanlar arası ayrılmayı durdurması ya da yavaşlatması olduğunu sonucuna varmışlardır.

Zic ve arkadaşları (1990), üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin araştırılması konusunda çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmada çeşitli geometrik yapılarda üçgen ve dikdörtgen ve sinüsoidal merkez yardımıyla bütünleşmiş iki yüzden oluşan üç boyutlu dokuma kumaş yapılarıyla takviye edilmiş kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemetleri araştırılmıştır. Diğer yapılara göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

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. Sandviç yapısının temel mekanik özellikleri incelendiği zaman, sıkıştırma direncinin iyi olduğu görülmüştür. Kayma direnci ise $\pm 45^\circ$ açılara kadar dokuma ile yeterli bir hav yoğunluğu ile birlikte daha iyi olduğu görülmektedir. Temel özellikler dokunun ve üretim parametrelerinin bir fonksiyonu olarak çekirdeğin mikroyapısını doğru bir şekilde tanımlayan detaylı bir ön işleme aracı geliştirilerek bir sonlu elemanlar programı ile modellenmiştir. Şekil 6'da sandviç kumaş formu gösterilmektedir.



Şekil 6. Kadife dokuma kumaş tekniği ile üretilen sandviç kumaş şeması (Van Vuure ve arkadaşları, 2000)

Brandt ve arkadaşları (1996), çeşitli 3D dokuma kompozitlerin mekanik performansını değerlendirmek ve daha iyi bir anlayış elde etmek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. 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. 3D elyaf takviyeli kompozitlerin hasar toleransı ve enerji absorpsiyon kabiliyeti açısından yüksek bir potansiyele sahip olduğu tespit edilmiştir.

Pochiraju ve Chou (1999) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise açılı interlok üç boyutlu dokuma yapısıyla takviye edilmiş kompozit yapılarının çekme, bası, kesme ve eğilme yüklemeleri altındaki davranışları deneysel olarak incelemektedir.

Langston ve Qiu (2003) tarafından yapılan çalışmada aramid iplikler kullanılarak oluşturulan ortogonal üç boyutlu dokuma kumaş takviyeli kompozit malzemelerin çekme mukavemetleri analiz edilmektedir. Bu çalışmada 3D ortogonal dokuma kompozitlerin imalatı için hava tekstüre aramid iplikler (ATAY) ve normal aramid iplikler (RAY) kullanılmıştır. Kompozitlerden, ATAY kompozit, dokulu ipliklerin yoğunluğu nedeniyle RAY kompozitinden çok daha düşük lif hacim fraksiyonuna sahiptir. Aynı lif hacim oranında ATAY kompozit, RAY kompozitinden biraz daha düşük gerilme mukavemeti ve modülüne

sahiptir. Ancak % 120 daha yüksek düzlemsel kesme modülüne sahiptir. ATAY kompoziti, 45° yönlü çekme testinde çok daha yüksek bir verim noktasına ve çözümlü yönü gerilme testinde RAY kompozitinden çok daha yüksek bir yumuşama noktasına sahip olduğunu gözlemiştir.

Üç boyutlu sandviç kompozitlerin uzun süreli dayanımı ve mekanik özellikleri tam olarak anlaşılmasına rağmen, hafif olması ve iki boyutlu dokuma kumaşlardan veya şeritlerden üretilmiş yapılara göre daha iyi şekil alabilmesi sayesinde bisiklet kaskı olarak kullanıma çok uygundur. Ayrıca dış yüzeylerin örme yapısı sayesinde sağlanan optimum hava akımı, özellikle dayanıklı sürüş için önemli bir avantajdır. Şekil 7’de örme sandviç tekstil kompozitinden üretilmiş bisiklet kaskı gösterilmektedir (Mouritz ve ark., 1999).



Şekil 7. Örme sandviç tekstil kompozitinden üretilen bisiklet kaskı (Mouritz ve ark., 1999)

Üç boyutlu örme kumaş yapıları (sandviç tekstiller), kompozit güçlendirme malzemesi olarak ilk kez 1990’lı yılların başında, Katholieke Leuven Üniversitesi (Belçika), Malzeme ve Metalürji Mühendisliği Bölümü’nde gerçekleştirilen proje kapsamında kullanılmıştır. Projede çözümlü örme sandviç tekstillerden kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir (Verpoest ve ark., 1995).

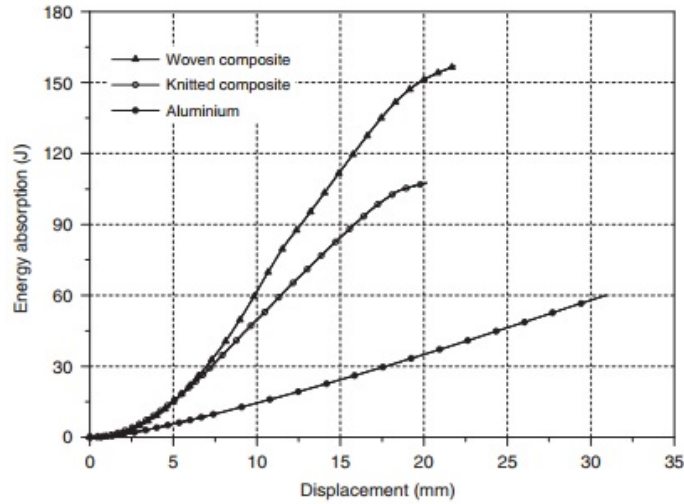
Verpoest ve arkadaşları (1995), örme sandviç tekstillerin kompozit malzemesi yapılarını incelemiştir. Açık yapıya sahip üç boyutlu çözümlü örme sandviç tekstillerden üretilmiş kompozit malzemelerin geliştirilmesi amaçlamışlardır. Üç boyutlu örme kumaşların özellikleri incelenmiş ve bunlardan üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada sandviç tekstillerin kompozit malzemelerde kullanılmaları için, bazı denemeler yapmışlardır. Bunlar genelde, ilmek yapılarının değiştirilmesi ve üst yüzeylere cam liflerinin ilave edilmesi gibi çalışmalardır. Sandviç tekstilin birim hücre yapısı detaylı olarak incelenmiş ve bunu etkileyen temel parametreler tanımlanmıştır. Kompozitte kullanılan sandviç tekstil yüzeylerinin ve bağlantı tabakası geometrisinin tanımlanması için bir analitik model geliştirilmiştir.

Verpoest ve arkadaşları (1995), örme sandviç tekstilden üretilen kompozitin bağlantı tabakası tamamen reçine ile doldurulmamıştır. Çalışmada incelenen sandviç tekstil kompozitlerinin eğilme davranışlarının anlaşılmasıdır. Bağlama ipliği uzunluğu ve çapı, reçine miktarı ve dağılımı parametrelerinin, kompozitin basma özelliklerine etkisi deneysel olarak ve geliştirilen model ile incelenmiştir. İyi reçine dağılımının basma dayanımını arttırdığı ve bu özelliğin bağlama ipliğinin şekline bağlı olduğu ifade edilmiştir. Ara tabakada

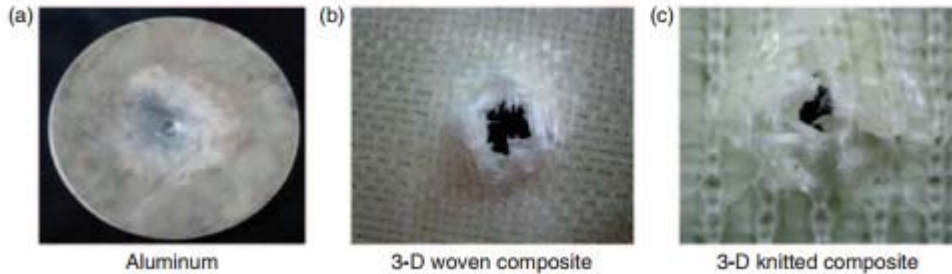
bulunan bağlama ipliklerinin kavisli olması, tamamen dik konumda bulunmasına göre, bağlama ipliğini kumaş yüzeyleri ile birleştiği noktalarda daha fazla reçine alımı sağlamaktadır. Bu da kompozit yapının rijitliğini arttırmaktadır. Projede geliştirilen modelden elde edilen bilgiler ışığında, farklı yapılarda sandviç tekstillerin daha ucuz ve daha yüksek performanslı üretilebileceği ifade edilmektedir.

Hu ve arkadaşları (2010), özellikle uçaklarda kullanılması için üç boyutlu tekstiller ile alüminyum plakaların darbeye karşı etkilerini incelemişlerdir. Etki yükü altında uçaklar ve yüksek hızlı araçlarda genellikle darbe yükleri olduğundan, bu uygulamalarda kullanılan tekstil kompozitlerinin ve alüminyum plakaların darbe hasarı önemli bir konudur. Darbe yükünün aksine, 3D tekstil bileşiklerinin enerji absorpsiyon yarı statik girinti alüminyumunkinden daha büyüktür. Şekil 8'de üç çeşit malzemenin yarı statik girinti altında enerji absorpsiyon gösterilmektedir. Etki yükü altında olanlar ile yarı statik sonuçlarla karşılaştırıldığında çarpma yükü altındaki enerji emiliminin, kuasistatik etkiye göre daha yüksek olduğu gösterilmektedir.

Alüminyumun daha büyük girintisi 3D tekstil kompozitinden daha yüksek enerji emilimine neden olur. Şekil 9'da gösterildiği gibi, 3D tekstil kompozitinin yarı-statik girinti hasarı, alüminyumdan çok daha şiddetli olduğu görülmektedir (Hu ve ark., 2010).



Şekil 8. Yarı statik yüklemeye altındaki üç maddenin enerji emilimi ve yer değiştirme eğrileri (Hu ve ark., 2010)



Şekil 9. (a) Alüminyum, (b) 3D Dokuma kompozit ve (c) 3D Örgülü kompozitin yarı-statik girinti hasarı (Hu ve ark., 2010)

Hu ve arkadaşları (2010), üç boyutlu tekstil takviyeli kompozit malzemenin (3D atkı örme sandviç tekstil kompoziti ve 3D ortogonal dokuma kumaş kompoziti olmak üzere) ve dairesel alüminyum plakaların darbe etkileri birbirleri ile karşılaştırmıştır. Kompozitlerin

üretimi doymamış polyester reçinesi ile VARTM metoduna göre (lif hacim oranı % 40 olarak) gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, üç boyutlu tekstil kompozitlerinin, darbe yüklerinde alüminyumdan daha dayanıklı olduğu, bu nedenle uçaklarda ve yüksek hızlı araçlarda kullanım için daha uygun olduğu ifade edilmektedir.

Menges (2009), çözgü örme sandviç tekstil dolgu malzemesine sahip kompozit malzemelerin tasarımı ve üretimi için sayısal yaklaşım geliştirmiştir. Bağlayıcı kumaşların malzeme kapasitesi ile sandviç kompozit imalatının kısıtlamaları arasındaki ilişki, hesaplama tasarım sürecine doğrudan bilgi vermektedir. Bu yaklaşım özellikle sandviç tekstil dolgu malzemelerinin mimari alanda kullanımları için önemlidir. Çalışmada kompozit üretim adımları ve sandviç tekstil ile ilgili kısıtlamalar göz önüne alınarak bütünsel bir yaklaşım sunulmuştur. Geliştirilen sayısal yaklaşımlar ile iki prototip sandviç tekstil kompoziti üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada üretilen üç boyutlu sandviç kumaş yapısı Şekil 10 (a)'da gösterilmiştir. Burada gösterilen üç boyutlu kumaşlar raşel makinelerinde üretilmektedir. Bunlar üç boyutlu çözgü örme kumaşı olup, iki kumaş tabakası bir bağlantı ile birbirine bağlanmıştır. Üretim prosesi, kumaşta farklı elyafların kullanılmasına izin verir. Üst ve alt kat arasındaki boşluk 1,5 milimetreden 60 milimetreye kadar değişmektedir. Bu malzemelerin mimari tasarımda kullanılmasının bir uygulaması Şekil 10 (b)'de gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 10. (a) Mimari tasarımlarda kullanılmak üzere geliştirilen üç boyutlu sandviç kumaş yapısı ve (b) geliştirilen kumaşların mimari tasarımlarda kullanılması (Menges, 2009)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar incelendiği zaman, üç boyutlu örme ve dokuma tekstil kompozitleri, kompozit malzeme yapılarının mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Özellikle sandviç tekstil dolgu malzemesinin kompozitin eğilme dayanımını önemli ölçüde artırdığı belirtilmektedir. Üç boyutlu tekstil kompozitlerinin, darbe yüklerinde alüminyumdan daha dayanıklı olduğu görülmüştür. Üç boyutlu kompozitler iki boyutlu kompozitlere göre delaminasyona karşı dirençlidir ve mekanik özellikleri önemli gelişmeler göstermektedir.

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 kabiliyeti açısından yüksek bir potansiyele sahip olduğu tespit edilmiştir.

Özellikle geliştirilmiş ve modifiye edilen makinelerde yüksek performanslı ipliklerin de kullanılması ile pek çok yapı üretilebilmektedir. Bu makinelerin içinde düz örme makinelerinin kapasite kullanım oranlarının çok düşük olduğu için, düz örme makinelerinin üç boyutlu kompozit tekstil üretimi için kullanılması daha çok katma değer oluşturmasını sağlayacaktır.

Sonuç olarak, birçok sektörde kullanılan kompozit malzemelerin diğer kompozit malzemeler yerine üç boyutlu örme ve dokuma tekstil hammaddeleri kullanılarak yapılması tercih edilmekte ve bu süreç hızlanmaktadır. Küresel rekabet koşulları altında en ucuz maliyet ile amaca en uygun malzeme üretme yarışında özellikle üç boyutlu tekstil yapıları çok önem kazanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Brandt, J., Drechsler, K., Arendts, F.-J. (1996) Mechanical Performance of Composites based on various three dimensional woven fibre preforms, *Composites Science and Technology*, Vol.56, Issue 3, p.381-386.
- Chou, S., Chen, H.C., Wu, C.C. (1992) BMI Resin Composites Reinforced with 3D Carbon–Fibre Fabrics, *Composite Science and Technology*, Vol.43, Issue 2, p.117-128
- Fishpool DT, Rezai A, Baker D, Ogin SL (2013), Smith PA. Interlaminar toughness characterisation of 3D woven carbon fibre composites. *Plastics, Rubber and Composites, Macromolecular Engineering*, Vol. 42, Issue 3, p.108–114
- Gündoğan S., Eren R., Karahan M.(2009), Üç Boyutlu Dokuma Kumaş Takviyeli Kompozit Yapıların Çekme Mukavemetinin Analizi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 14, Sayı 2, s.163
- Hu, H., Sun, B., Sun, H. and Gu, B., (2010), A comparative study of the impact response of 3D textile composites and aluminum plates, *Journal of Composite Materials*, Vol.44, Issue.5, p.593-619
- Jones, R.M. (1999), *Mechanics of Composite Materials*, (2nd Edition), Taylor& Francis, ABD, p.421
- 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)*, Vol.3, p.77-81.
- Menges, A., (2009), Integral computational design for composite spacer fabric structures: integral processes of form generation and fabrication for sandwich structured composites with 3D warp-knitted textile core, *Computation: The New Realm of Architectural Design*, 27 the CAAD Conference Proceedings, Istanbul (Turkey), 16-19 September 2009, p.289-298

- 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 , Vol. 30, Issue 12, p.1445-1461.
- Ogin, S.L. (2016), University of Surrey, P. Potluri, University of Manchester, United Kingdom, Handbook of technical textiles Second edition Volume 2: Technical Textile Applications. Textile-reinforced composite materials, p.1-3
- Pochiraju, K., Chou, T. (1999) Three Dimensionally Woven and Braided Composites II: An Experimental Characterization, Polymer Composites, Vol.20, Issue 6, p.733-747.
- Shoshanna D. Rudov-Clark, (2007), Experimental Investigation Of The Tensile Properties And Failure Mechanisms Of Three-Dimensional Woven Composites, p.102
- Tanzawa Y, Watanabe N, Ishikawa T.(1999), Interlaminar fracture toughness of 3D orthogonal interlocked fabric composites. Compos Sci Tech, Vol.59 Issue 8, p.1261–1270.
- Ünal A.(2014), Reutlingen Üniversitesi, Tekstil ve Dizayn Fakültesi, Örne Teknolojisi Ve Teknik Tekstiller, XIII. Uluslararası İzmir Tekstil ve Hazır Giyim Sempozyumu, s.41-43
- 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, Vol.31, p.671-680.
- Verpoest, I., Ivens, I., Van Vuure, A., W., Gommers, B., Vendeurzen, P., Efstratiou, V. and Phillips, D., (1995), New developments in advanced textiles for composites, Proceedings of the Fourth Japan International SAMPE Symposium, 25–28 September 1995, p.644
- Zic I., Ansell M.P., Newton A., Price R.W. (1990) Mechanical Properties of Composite Panels Reinforced with Integrally Woven 3-D Fabrics, The Journal Textile Institute, Vol.81 Issue 4, p.461-479