

CAM İPLİĞİNDEN DOKUNMUŞ BEZAYAĞI KUMAŞIN ÜÇ BOYUTLU ŞEKİL ALABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Mehmet Erdem İNCE (ORCID: 0000-0001-7537-9172)^{1*}

¹Gaziantep Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Gaziantep

Geliş / Received: 02.10.2019
Kabul / Accepted: 08.12.2019

ÖZ

Lif takviyeli polimer kompozit malzeme üretiminde tekstil takviye kumaşının karmaşık şekilli, üç boyutlu bir kalıba kolaylıkla yatması istenen bir özelliktir. Bu çalışmada cam ipliğinden üretilmiş bezayağı dokuma kumaşın üç boyutlu şekil alabilirliliği kumaş patlatma test cihazı kullanılarak, kumaş patlaması olmaksızın ölçülmüştür. Kubbe alanı olarak 10 ve 50 cm² seçilmiştir. Maksimum basınç 50 kPa olarak ayarlanmıştır. Kumaş şişirme (basınç artış) hızı olarak 2 ve 20 kPa/s seçilmiştir. Testler döngüsel hızlı yorulma modunda yapılmıştır. Toplam çevrim sayısı beş olarak belirlenmiştir. Kubbe alanının artması ile birlikte kumaşın şişme miktarı da artmıştır. 50 cm²'lik kubbe alanında kaydedilen şişme değerleri normal bir dağılım gösterirken, 10 cm²'lik kubbe alanında kaydedilen şişme değerleri normal bir dağılım göstermemiştir. Düşük basınç artış hızında kumaşlar daha fazla şişme sergilemişlerdir. Çevrim sayısının artması ile birlikte kumaş şişmesi de artmıştır.

Anahtar kelimeler: cam lifi, dokuma kumaş, lif takviyeli polimer, şekil alabilirlilik, kalıplanabilirlilik

THE INVESTIGATION OF 3D FORMABILITY OF PLAIN WOVEN FABRIC FROM GLASS YARN

ABSTRACT

In the production of fiber-reinforced polymer composite material, it is desirable for the textile reinforcement fabric to readily lie in a complex, three-dimensional mold. In this study, three dimensional formability of plain woven glass fabric was measured using fabric bursting strength tester without burst of fabric. The dome areas were chosen as 10 and 50 cm². The maximum pressure was set to 50 kPa. The fabric inflation (pressure increase) rates were selected as 2 and 20 kPa/s. Tests were carried out in cyclic rapid fatigue mode. The total number of cycles was set to 5. As the dome area increased, the amount of fabric distension increased. Distension measurements under the dome area of 50 cm² showed a normal distribution, whereas those made at 10 cm² did not. The fabrics exhibited more distension at low pressure increase rate. Fabric distension increased with the increase in the number of cycles.

Keywords: glass fiber, woven fabric, fiber reinforced polymer, shapeability, moldability

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 342 317 27 30 ; e-mail / e-posta: eince@gantep.edu.tr; meince@ncsu.edu

1. GİRİŞ

Lif ve polimer malzemenin bir araya gelmesiyle oluşan ve bileşenlerinin tek başına sergileyemedikleri performansı kendisi sergileyebilen lif takviyeli polimer kompozit malzemeler günlük hayattan savunma sanayiine kadar uzanan geniş bir yelpazede kullanılmaktadır [1, 2]. Tekstil dokuma kumaşları isteğe göre tasarlanabilir, kolay üretilebilir ve kolay işlenebilir olmalarından ve bütünleşik yapılarından dolayı lif takviyeli polimer kompozit malzeme üretiminde takviye malzemesi olarak büyük ölçüde kullanılmaktadır. Tekstil dokuma kumaşının karmaşık şekilli, üç boyutlu bir kompozit üretim kalıbına kolaylıkla yatması (bir başka deyişle; herhangi bir kırışıklık, katlanma ve yırtılma olmaksızın kalıbın şeklini alması) istenen bir özelliktir.

Cam elyafı; makul fiyat, iyi seviyede mekanik özellik, yüksek seviyede alev ve kimyasal dayanım avantajlarından dolayı teknik tekstiller alanında, özellikle lif takviyeli polimer kompozit malzeme üretiminde büyük ölçüde tercih edilmektedir. Bu çalışmada cam ipliğinden üretilmiş bezayağı dokuma kumaşın üç boyutlu şekil alabilirliği kumaş patlatma test cihazında, kumaşa patlama meydana getirmeksizin ölçülmüştür. Bu bağlamda gözden geçirilen literatür aşağıda verilmektedir.

Lomov ve Verpoest [3] kompozit üretiminde kullanılan tekstil takviye kumaşlarının iç geometrisini ve buna karşılık şekil alabilirliğini modellemeye yönelik bir yazılım geliştirmiştir. Geliştirilen model, kompozit üretimi esnasında kumaşın reçine akışına karşı gösterdiği direncin ve kompozit malzeme üretildikten sonra ürünün sergileyeceği mekanik özelliklerin tahmin edilmesine de yöneliktir. Dokuma kumaşların şekil alabilirliğinin modellenmesinde: kalınlık yönünde kumaşın sıkıştırılması, iki eksenli gerilme ve düzlem içi kayma gerilmeleri ele alınmıştır.

Willems ve arkadaşları [4, 5], Lomov ve arkadaşları [6] farklı mimariye sahip tekstil dokuma kumaşlarının şekil bozunumunu (tek ve iki eksenli çekme gerilmeleri ve düzlem içi kayma gerilmeleri deneyleri yaparak) tam alan optik ölçüm yöntemiyle ölçmüşlerdir. Araştırmacılar kumaşların şekil alabilirliğinin değerlendirilmesinde tam alan ölçüm yönteminin, üç boyutlu şekil alabilirliği de tahminleme suretiyle, klasik çekme ve kayma deneylerinin sonuçlarına oranla gerçek uygulamaya daha yakın sonuçlar verdiğini ifade etmiştir.

Dokuma kumaşlardan farklı olarak birbiri içine geçmiş ilmeklerden oluşan örme kumaşların şekillendirilebilme kabiliyeti dokuma kumaşlardan oldukça yüksektir. Dokuma kumaşlarda şekillendirilebilme etkileyen en önemli etken düzlem içi kayma kuvvetlerine gösterilen tepki iken; örme kumaşlarda herhangi bir düzlem içi kuvvet uygulandığında ilmeklerin birbiri üzerinden kolaylıkla kayması kumaşın üzerine konduğu katı cismin (kalıbın) şeklini almasını kolaylaştırmaktadır. Örme kumaşların kompozit üretimi açısından şekil alabilirliğini inceleyen çalışma sayısı sınırlıdır. Örme kumaşların kompozit takviye kumaşı perspektifinden şekil alabilirliğini inceleyen yayınların özeti aşağıda verilmektedir.

Savci, Curiskis ve Pailthorpe [7] cam ipliğinden farklı mimarilerde (tam-Milano, değişmeli yarım-Milano, tam-hırka, Fransız çift pike, 1x1 ribana ve düz) atkılı örme kumaşlar üretmiştir. Kumaşların çekme özelliklerini KESF (Kawabata Evaluation System for Fabric) test metoduyla ölçerken şekillendirilebilme özelliklerini ise modifiye edilmiş California bearing-ratio (CBR) test metoduyla ölçmüşlerdir. Tam-Milano kumaş yapısının şekillendirilmesinde ribana ilmeklerden ziyade düz ilmeklerin daha belirleyici rol oynadığı sonucuna varılmıştır. Tam-Milano kumaş yapısındaki düz ilmeklerin uzunluğunun artması ile birlikte şekillendirilebilme yükü ve enerjisi düşmüştür, yani kumaş daha kolay şekil alabilir hale gelmiştir. Tam-Milano kumaş için örgü sırası yönünde elde edilen KESF çekme verileri ile şekillendirilebilme verileri arasında yüksek pozitif ilişim katsayıları (R^2) edinilmiştir. Diğer kumaş mimarileri için de benzer sonuçlar elde edilirken, en kolay şekillendirilen mimari tam-hırka olurken, en zor şekillendirilen mimari Fransız çift pike olmuştur.

Savci, Curiskis ve Pailthorpe daha önce şekil alabilirliğini inceledikleri cam ipliği atkılı örme kumaşlardan helikopter kapı cebi kompozit malzemesi üretmişlerdir [8, 9]. Araştırmacılar şekil alabilirliği etkileyen faktörleri: takviye kumaşının uzayabilirliği, ortaya çıkan nihai kompozit ürününün kalitesine bağlı olarak içerdiği hataların seviyesi ve takviye kumaşının kompozit içerisindeki uzama dağılımı olarak sıralamışlardır. Şekil alabilirliğin sadece CBR test metodundan elde edilen şekil değiştirme enerjisi ve kuvvet-uzama grafikleri ile değerlendirilemeyeceği, kumaşın kalıp üzerindeki göreceli uzaysal (üç boyutlu) yerleşiminin de önemli olduğunun altı çizilmiştir.

Zhong ve Hu [10] dokuma kumaşlarda temel şekil bozunum biçiminin kayma olduğunu, örgü kumaşlarda ise bunun gerilme olduğunu ve bu nedenle örgü kumaşların dokuma kumaşlardan daha fazla şekil alabilir olduğunu ifade etmiştir. Aynı araştırmacılar cam ipliğinden 1x1 ribana, tam ribana, interlok, Milano, çift Milano, çift kat düz örgü kumaşlar üretmiş ve bu kumaşların şekil alabilirliğini; elle kumaş üzerine çizilen ızgara hücrelerinin kumaş yarım küre üzerine oturtulduğunda uğradıkları boyutsal değişim üzerinden test etmişlerdir. Bu yolla her farklı örgü tipi için farklı alana sahip kesim taslakları oluşturmuşlardır. Örgü yapıları arasında 1x1 ribana en çok şekil bozunumu performansını göstermiştir. Izgara hücrelerin alan değişimi üzerinden bölgesel lif hacimsel oranı değişimi hakkında fikir yürütmüşlerdir. Ancak, kumaşların yarım küre üzerine yerleşiminin ve ölçümlerin elle yapılması sonuçların güvenilirliğini azaltmıştır.

CAM İPLİĞİNDEN DOKUNMUŞ BEZAYAĞI KUMAŞIN ÜÇ BOYUTLU ŞEKİL ALABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

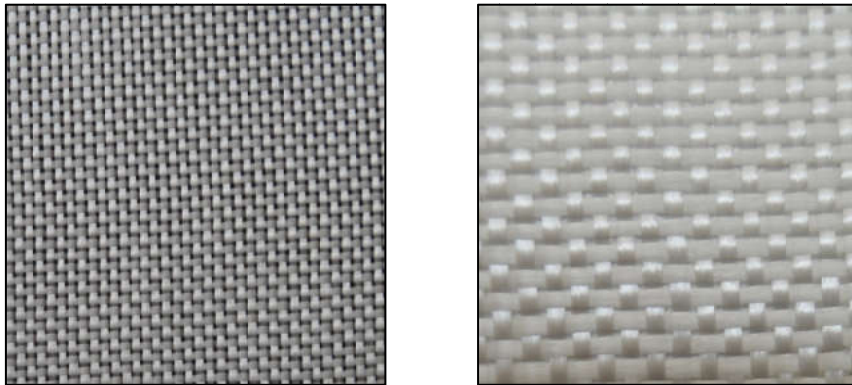
Kompozit takviye (dokuma veya örme) kumaşlarının şekillendirilebilirliği kapsamında yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde bu çalışmada kullanılan optik yöntemle dokuma kumaşların üç boyutlu şekil alabilirliğinin incelenmesi hususunda bir çalışmaya denk gelinmemiştir. Dokuma kumaşların şekil alabilirliği genellikle düzlem içi kayma ve iki eksenli çekme gerilmeleri deneyleri ile anlaşılmaya çalışılmıştır. Hâlbuki dokuma kumaşın üç boyutlu bir kalıbın şeklini, katlanma, kırışıklık ve yırtılma olmaksızın almasının benzer bir deneyle tespit edilmesi daha sağlıklı olacaktır. Bu çalışmada cam ipliğinden bezayağı dokuma kumaşın yarı küre şekil alabilirliği, tekstil laboratuvarlarında kumaş patlatma testi amacıyla kullanılan cihazda, kumaşı patlatmadan, kumaşın belli bir basınç altında sergilediği şişme miktarı ölçülerek test edilmiştir. Literatürde bu cihazın bu amaçla kullanıldığı bir çalışmaya denk gelinmemiştir. Bu çalışmada takviye kumaşının üç boyutlu şekil alabilirliği tek bir parametre ile (kumaşın şişme miktarı ile) değerlendirilmiştir. Girdi parametreleri olarak: kubbe alanı (şişirilmeye maruz bırakılacak kumaş yüzey alanı), kumaşın şişirilme (basınç artışı) hızı ve tekrarlı şişirilme sayısı esas alınmıştır. Bu çalışmada benimsenen girdi parametrelerini inceleyen benzer bir çalışmaya da yine literatürde rastlanmamıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada cam ipliğinden üretilmiş bezayağı dokuma kumaşın yarı küresel üç boyutlu şekil alabilirliği kumaş patlatma test cihazında, kumaşı patlatmadan belirlenen basınç seviyesinde ölçülmüştür. İlgili kumaş Omnis Kompozit Ltd. şirketinden temin edilmiştir ve kumaşın teknik özellikleri Tablo 1’de, fotoğrafı ise Şekil 1’de verilmektedir. Tablo 2’de deneysel çalışma planı ekseninde kumaşın şekil alabilirliği üzerine etkisi incelenen değişkenler ve bu değişkenlerin alt seviyeleri verilmektedir. Tablo 2’de ayrıca girdi değişkenlerinin analizde kullanılacak veri tipleri ve model denklem geliştirmede kullanılacak modelleme tipleri de verilmektedir.

Tablo 1. Bezayağı cam iplik dokuma kumaşın teknik özellikleri

Özellik	Değer
Cam tipi	E-camı
Doku tipi	Bezayağı
Kumaş eni, mm	1000
Reçine bağlayıcısı	Silane
Gramaj, g/m ²	135
Çözgü sıklığı, tel/cm	10
Atkı sıklığı, tel/cm	10
Çözgü iplik numarası, Tex	66
Atkı iplik numarası, Tex	66

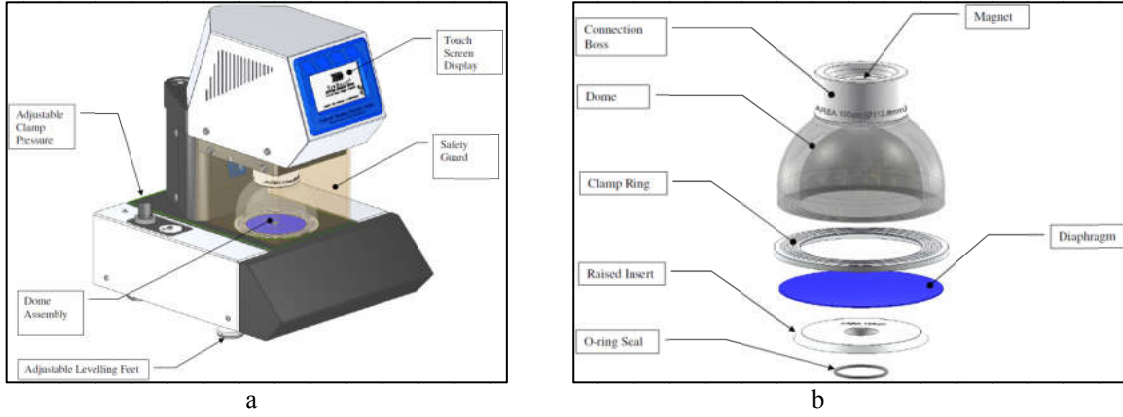
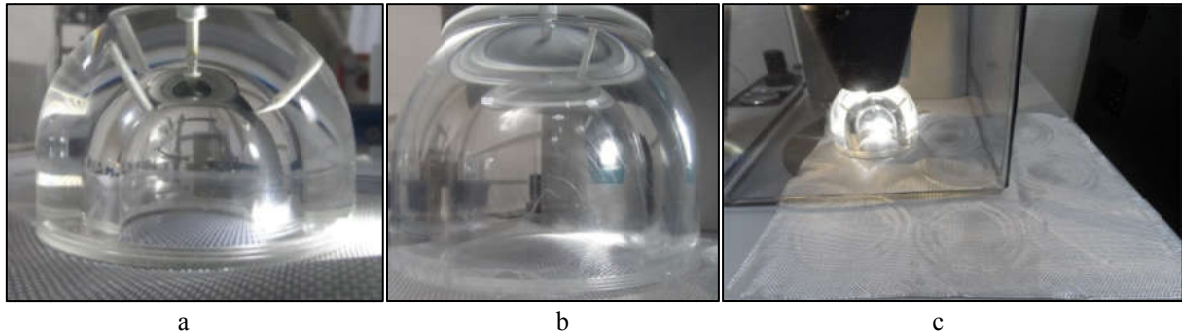


Şekil 1. Bezayağı cam iplik dokuma kumaşın yakından çekilmiş fotoğrafları

Tablo 2. Deneysel çalışma planı

Değişkenler	Seviyeleri	Veri tipleri	Modelleme tipleri
Kubbe alanı, cm ²	10 ve 50	Sayısal	Sürekli
Basınç artış hızı, kPa/s	2 ve 20	Sayısal	Sürekli
Test döngü sayısı	1, 2, 3, 4, 5	Sayısal	Sırasal

Kumaşın üç boyutlu şekil alabilme kabiliyeti 10 bar hava basıncına kadar çalışabilen, James H. Heal TruBurst² marka kumaş patlatma mukavemeti test cihazı kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 2). Cihaz 7,3 - 7,8 - 10 - 50 ve 100 cm² kubbe alanı seçenekleri ile pazara sunulmaktadır ve laboratuvarımızda bulunan cihaz bu kubbe alanlarından 7,3 - 10 ve 50 cm² olanlarına sahiptir. Bu çalışma kapsamında kubbe alanının şekil alabilirlik üzerine etkisini incelemek amacıyla 10 ve 50 cm² alana sahip kubbelerle çalışılmıştır. Cihazın amacı tekstil kumaşlarının patlatma mukavemetini ölçmektir. Dolayısıyla bu cihazın kullanımı için geliştirilen test standartları kumaşların patlatılmasına yöneliktir. Ancak bu çalışmanın amacı kumaşı patlatmak değil, kumaşı patlatmadan kumaşın şekil alabilirliğini ölçmek olduğu için, bu çalışmada her hangi bir test standardı takip edilmemiştir.

**Şekil 2.** TruBurst² kumaş patlatma mukavemeti test cihazının ana parçalarının (a) ve kubbe bileşenlerinin (b) tanıtımı**Şekil 3.** TruBurst² cihazında yapılan testler esnasında çekilen fotoğraflar (a: 10 cm² kubbe alanı, b: 50 cm² kubbe alanı, c: test edilmiş kumaş numunesi)

Cihazın halka çenesi (Şekil 2-b) üzerine düz bir şekilde yerleştirilen kumaş, sert plastikten imal edilmiş kubbenin aşağı inmesiyle halka çene yüzeyi boyunca sıkıştırılmaktadır. Test başlatıldığında kauçuk diyaframın altındaki hava belirlenen basınç artış hızında basınçlandırılarak diyafram ile birlikte test kumaşının yarım küre formunda şişmesini sağlamaktadır. Cihaz aynı anda basıncı (kPa), şişme miktarını (mm) ve zamanı (saniye) ölçmektedir. Ön denemeler neticesinde kumaşın patlamasına mahal verememek için maksimum basınç 50 kPa olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmada, cihaz patlatma modunda değil, hızlı döngüsel yorulma modunda çalıştırılmıştır. Dolayısıyla cihaz belirlenen basınç artış hızına bağlı olarak (2 veya 20 kPa/s basınç artış hızıyla) 50 kPa basınca ulaşmakta ve bu noktada bekleme yapmadan aynı anda sıfır hava basıncına inmektedir. Cihaz sıfır basınca indikten sonra da yine bekleme yapmadan ayarlanan basınç artış hızıyla (2 veya 20 kPa/s) maksimum basınca doğru yeniden yükselmektedir. Her bir döngü 5 defa tekrarlanacak şekilde ayarlanmıştır. Her maksimum (50 kPa) basınca çıkıldığında ölçülen şişme miktarı kayıt altına alınmaktadır. Milimetre cinsinden

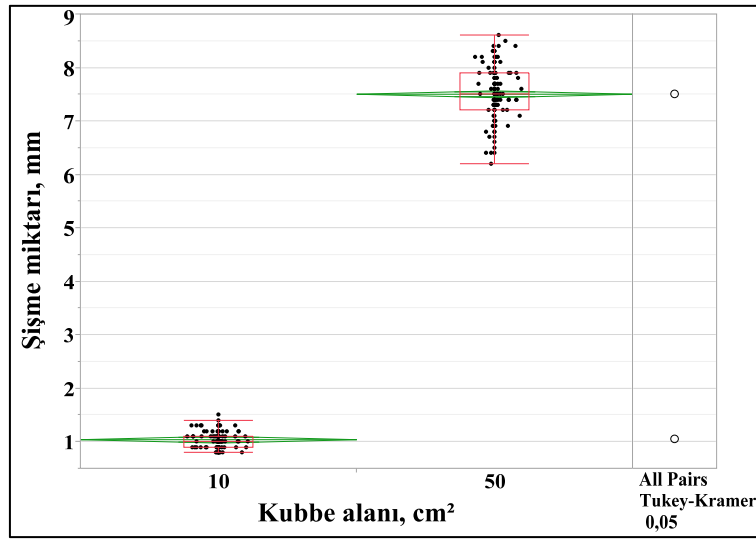
CAM İPLİĞİNDEN DOKUNMUŞ BEZAYAĞI KUMAŞIN ÜÇ BOYUTLU ŞEKİL ALABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

ölçülen şişme miktarı kumaşın şekil alabilirliğinin bir ölçüsü kabul edilmiştir. Şekil 3'te test esnasında çekilmiş resimler verilmektedir. Deney sonuçlarının görsel grafiklerinin çizilmesinde, detaylı istatistiksel analizlerinin yapılmasında ve model tahminleme denkleminin geliştirilmesinde JMP® 14 istatistiksel analiz paket programının deneme sürümü kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Kubbe alanının kumaşın şekil alabilirliği üzerine etkisi

Şekil 4 ve Tablo 3 kubbe alanının kumaşın şekil alabilirliği (şişme miktarı) üzerine etkisini göstermektedir. Beklenildiği üzere kubbe alanının artması ile birlikte kumaşın şekil alabilirliği istatistiki olarak önemli seviyede artmıştır.



Şekil 4. Kubbe alanının kumaşın şişme miktarı (mm) üzerine etkisi

Not: Yeşil renkteki elmasların alt ve üst köşeleri arasındaki mesafe: elmasın ait olduğu kubbe alanı seviyesinde ölçülen şişme değerlerinin % 95'lik güven seviyesine göre tesis edilen güven aralığını temsil etmektedir. Sağ taraftaki sütunda her bir kubbe alanı seviyesinde ölçülen şişme miktarlarının ortalaması için bir adet karşılaştırma dairesi verilmektedir. Şişme miktarı ortalamaları farklı olan kubbe alanları seviyelerini temsil eden karşılaştırma daireleri ya kesişmemekte ya da hafifçe kesişmektedir. Varyasyonun sayısal bir ifadesi olan kırmızı kutuların yüksekliği, çeyrekler arası aralık olarak da ifade edilmektedir.

Tablo 3. Kubbe alanının kumaşın şişme miktarı (mm) üzerine etkisi

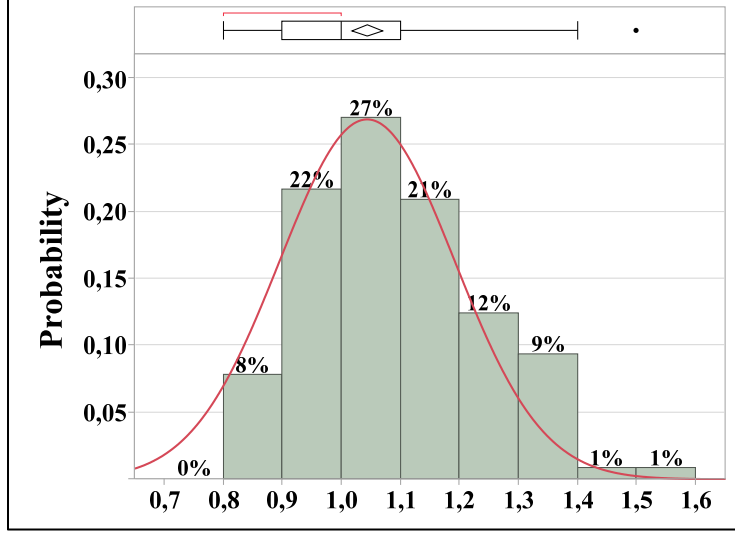
Kubbe alanı, cm ²		n	ort.	ss.	AL	ÜL	p-değeri
50	A	130	7,50	0,50	7,42	7,59	< 0,0001
10	B	130	1,04	0,15	1,02	1,07	

Not: Aynı büyük harfle birleştirilmeyen kubbe alanı seviyeleri birbirinden istatistiki olarak ($\alpha = 0,05$ önem seviyesine göre) önemli seviyede farklıdır. n: toplam ölçüm sayısı, ort.: ortalama, ss.: standart sapma, AL: alt limit, ÜL: üst limit. Alt ve üst limitler % 95'lik güven seviyesine göre tesis edilmiştir. p-değeri çift taraflı hipotez kuruluma göre hesaplanmıştır. Önem seviyesi (α) 0,05 olarak alınmıştır. 0,05'den daha küçük olan p-değerleri istatistiki olarak önemli bir farkın ifadesi olup kırmızı renge boyanmıştır.

Şekil 5 ve 6 sırasıyla 10 cm² ve 50 cm² kubbe alanlarında yapılan şişme miktarı ölçümlerinin dağılımını ve özet istatistiğini göstermektedir. Bu dağılımların normal olup olmadığının analizi yapıldığında 10 cm² kubbe alanında yapılan ölçümlerin normal olmayan bir dağılım karakteristiği sergilediği gözlemlenirken (p-değeri < 0,0001), 50 cm² kubbe alanında yapılan ölçümlerin normal bir dağılım karakteristiği (p-değeri = 0,4248) sergilediği tespit edilmiştir. Kubbe alanının artması ile birlikte kumaş şişme zorlanmasına daha tutarlı (istikrarlı) bir tepki göstermekte ve dolayısıyla ölçülen şişme miktarları da normal bir dağılım sergilemektedir. 50 cm²'lik kumaş alanında yaklaşık 125 adet desen tekrarı bulunurken, 10 cm²'lik kumaş alanında ise yaklaşık 25 adet desen tekrarı bulunmaktadır. Dolayısıyla iki alan arasında desen tekrarı açısından beş kat fark bulunmaktadır.

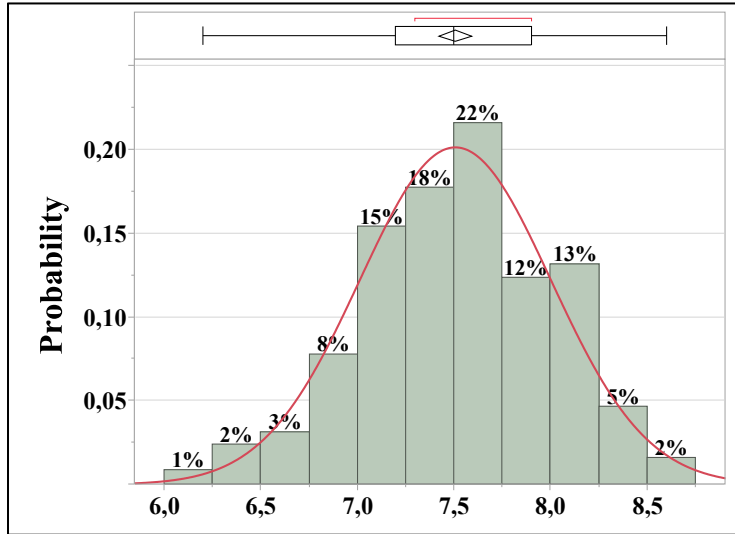
M.E. İNCE

Test alanında daha fazla desen (doku) tekrarının olması kumaşın karakteristiğini daha stabil yansıtmasına katkıda bulunarak sonuçların normal dağılım sergilemesini sağlamıştır.



Özet istatistiği	
Gözlem sayısı:	130 adet
Ortalama:	1,04 mm
Standart sapma:	0,15 mm
Üst limit:	1,07 mm
Alt limit:	1,02 mm
En düşük gözlem:	0,8 mm
En yüksek gözlem:	1,5 mm

Şekil 5. 10 cm² kubbe alanında yapılan şişme miktarı (mm) ölçümlerinin dağılımı ve özet istatistiği



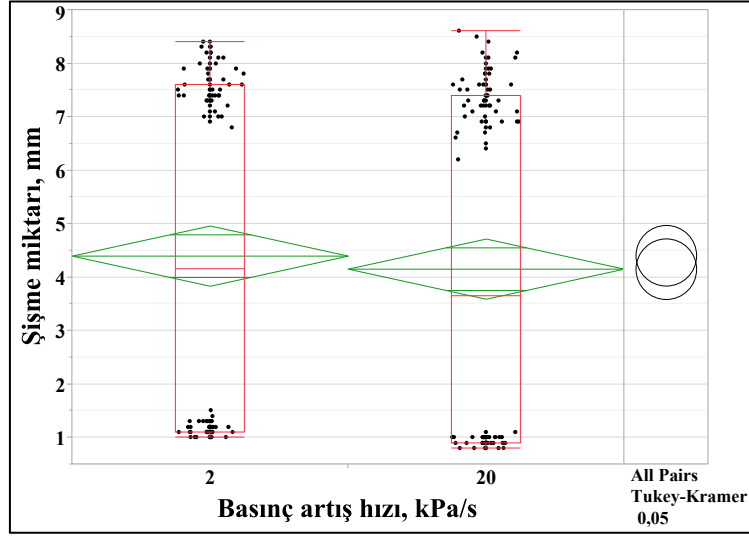
Özet istatistiği	
Gözlem sayısı:	130 adet
Ortalama:	7,50 mm
Standart sapma:	0,50 mm
Üst limit:	7,59 mm
Alt limit:	7,42 mm
En düşük gözlem:	6,2 mm
En yüksek gözlem:	8,6 mm

Şekil 6. 50 cm² kubbe alanında yapılan şişme miktarı (mm) ölçümlerinin dağılımı ve özet istatistiği

3.2. Basınç artış hızının kumaşın şekil alabilirliği üzerine etkisi

Şekil 7 ve Tablo 4 basınç artış hızının şişme miktarına etkisini göstermektedir. Kumaş düşük basınç artış hızıyla yarımküre formunu aldığı anda şişme miktarı daha fazla olmaktadır. Bir başka deyişle düşük şekil alma hızında kumaş daha fazla şekil bozunumuna uğratılabilmektedir. Şişme hızı düşük olduğunda kumaş şekil alabilme noktasında daha fazla zamana sahip olmakta, kendini bu değişime ayak uydurma açısından daha fazla zamana sahip olarak ipliklerin kayma deformasyonu daha rahat olmakta ve iplikler kayma deformasyonu toleranslarını daha iyi kullanabilmektedirler. Ancak bu çalışma kapsamında seçilen basınç artış hızı seviyeleri şişme miktarları açısından karşılaştırıldıklarında, aralarında istatistiki olarak bir fark gözlemlenmemiştir ($\alpha = 0,05$). Basınç artış hızının 20 kPa/s değerinden daha yüksek seviyelere çıkması durumunda aradaki farkın anlamlı olması beklenmektedir. Dolayısıyla kumaşın şekil alabilirliğini arttırmak için düşük şişirme hızlarının seçilmesi gerektiği sonucu buradan rahatlıkla çıkarılabilmektedir.

CAM İPLİĞİNDEN DOKUNMUŞ BEZAYAĞI KUMAŞIN ÜÇ BOYUTLU ŞEKİL ALABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ



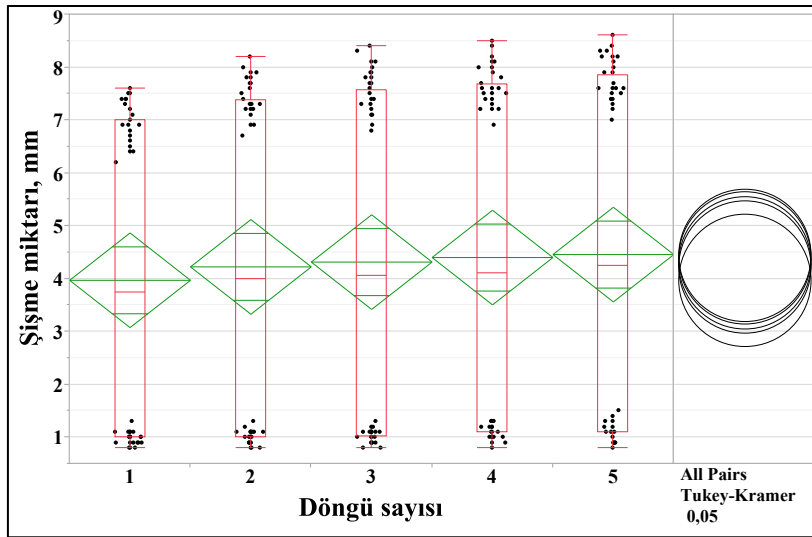
Şekil 7. Basınç artış hızının kumaşın şişme miktarı (mm) üzerine etkisi

Tablo 4. Basınç artış hızının kumaşın şişme miktarı (mm) üzerine etkisi

Basınç artış hızı, kPa/s		n	ort.	ss.	AL	ÜL	p-değeri
2	A	130	4,40	3,26	3,83	4,96	0,5472
20	A	130	4,15	3,26	3,59	4,72	

3.3. Döngü sayısının kumaşın şekil alabilirliği üzerine etkisi

Şekil 8 ve Tablo 5 döngü sayısının kumaşın şişme miktarı üzerine olan etkisini göstermektedir. Döngü sayısının artması ile birlikte kumaşın şişme miktarında bir artış gözlemlenmiştir. Dolayısıyla her bir sonraki döngüde kumaş bir önceki döngüye nazaran daha fazla şekil değişimine uğramıştır. Cam ipliğinin esnek olmayan yapısı her döngü sonunda kumaşın tam olarak eski haline dönmesine engel olmuş ve bunun sonucunda kumaş üzerinde oluşan kalıcı şekil bozunumları takip eden döngülerde daha fazla şişkinlik oluşmasına imkân vermiştir. Buradan çıkarılabilecek sonuç: kumaşın üç boyutlu şekil alabilirliğinin artırılmasına (yani üç boyutlu kalıba daha iyi yatmasını sağlamaya) yönelik olarak, kalıba yatırma işleminin birden fazla kez tekrarlanması faydalı bir pratik olacaktır şeklindedir.



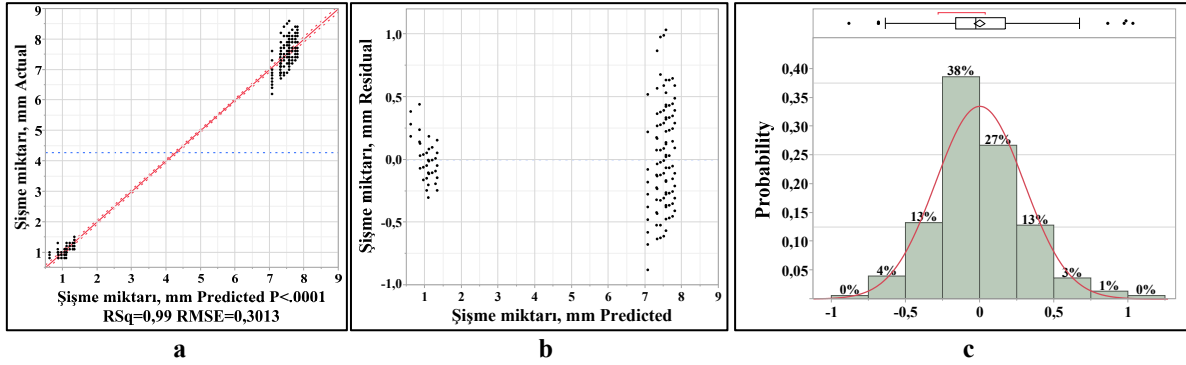
Şekil 8. Döngü sayısının kumaşın şişme miktarı üzerine etkisi

Tablo 5. Döngü sayısının kumaş şişme miktarı üzerine etkisi

Döngü sayısı		n	ort.	ss.	AL	ÜL	p-değeri
5	A	52	4,46	3,40	3,51	5,41	0,9504
4	A	52	4,40	3,36	3,47	5,34	
3	A	52	4,32	3,32	3,39	5,24	
2	A	52	4,22	3,26	3,32	5,14	
1	A	52	3,97	3,03	3,13	4,81	

3.4. Kumaş şişme miktarını tahminleme denkleminin geliştirilmesi

Girdi değişkenlerini kullanarak kumaş şişme miktarını tahmin etmek ve kumaş şişme miktarının girdi değişkenleri (kubbe alanı, basınç artış hızı ve döngü sayısı) tarafından hangi derecede etkilendiğini genel bir perspektifle üç boyutlu olarak gözler önüne sermek amacıyla bir tahminleme denklemi (model) geliştirilmiştir. Girdi değişkenlerinin veri tipleri ve modellemede kullanılacak olan modelleme tipleri daha önce Tablo 2’de verilmişti. Yapılan analizler sonucunda girdi değişkenleri arasındaki ikili ve üçlü etkileşimlerin önemli olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla model denklemde her bir girdi değişkeni yalın halde göz önüne alınmıştır. Kararlılık katsayısı (R²) değeri 0,992 olarak hesaplanmıştır. R² değerinin 0,992 çıkmasının anlamı: ölçülen kumaş şişme miktarlarındaki çeşitliliğin (varyasyonun) % 99,2’sinin geliştirilen model tarafından açıklanabiliyor olmasıdır. Modelin varyans analizi (ANOVA) sonucunda p-değerinin 0,0001’den küçük çıkması modelin kumaş şişme miktarını tahminleme noktasında yeterli ve güçlü olduğunu göstermiştir. Siyah dairesel ölçüm noktalarının, eğimi bir olan doğrusal kırmızı çizgiye olan yakınlık durumları (Şekil 9 - a); kumaş şişme miktarı artık değerlerinin: mavi, kesikli, yatay, sıfır çizgisinin her iki tarafında simetrik olarak dağılımı (Şekil 9 - b), modelin güvenilirliğini perçinlemektedir. Artık değerler normale yakın bir dağılım (Şekil 9 - c) takip edip, ortalamaları ve standart sapmaları sırasıyla -1,65*10⁻¹⁵ ve 0,30 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç da modelin güvenilirliğini arttırmıştır.



Şekil 9. Tahminlenen & ölçülen (fili) kumaş şişme miktarı (a), tahminlenen & artık kumaş şişme miktarı (b) ve kumaş şişme miktarı artık değerlerinin dağılımı (c)

1 numaralı denklem kumaş şişme miktarını tahmin etmek için geliştirilen denklemi göstermektedir. Denklemde geçen tüm faktör ve faktörlerin katsayıları istatistiki olarak önemlidir (p-değerleri 0,05’den küçüktür): bir başka deyişle denklemin tahminleme yetisine katkıları ihmal edilemez seviyededir (Tablo 6).

$$\begin{aligned}
 \text{Kumaş şişme miktarı, mm} &= -0,73 + 0,16 * (\text{Kubbe alanı, cm}^2) - 0,014 * \left(\text{Basınç artış hızı, } \frac{\text{kPa}}{\text{s}}\right) + \\
 &\begin{pmatrix} 1 \Rightarrow 0 \\ 2 \Rightarrow 0,25 \\ 3 \Rightarrow 0,34 \\ 4 \Rightarrow 0,43 \\ 5 \Rightarrow 0,49 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

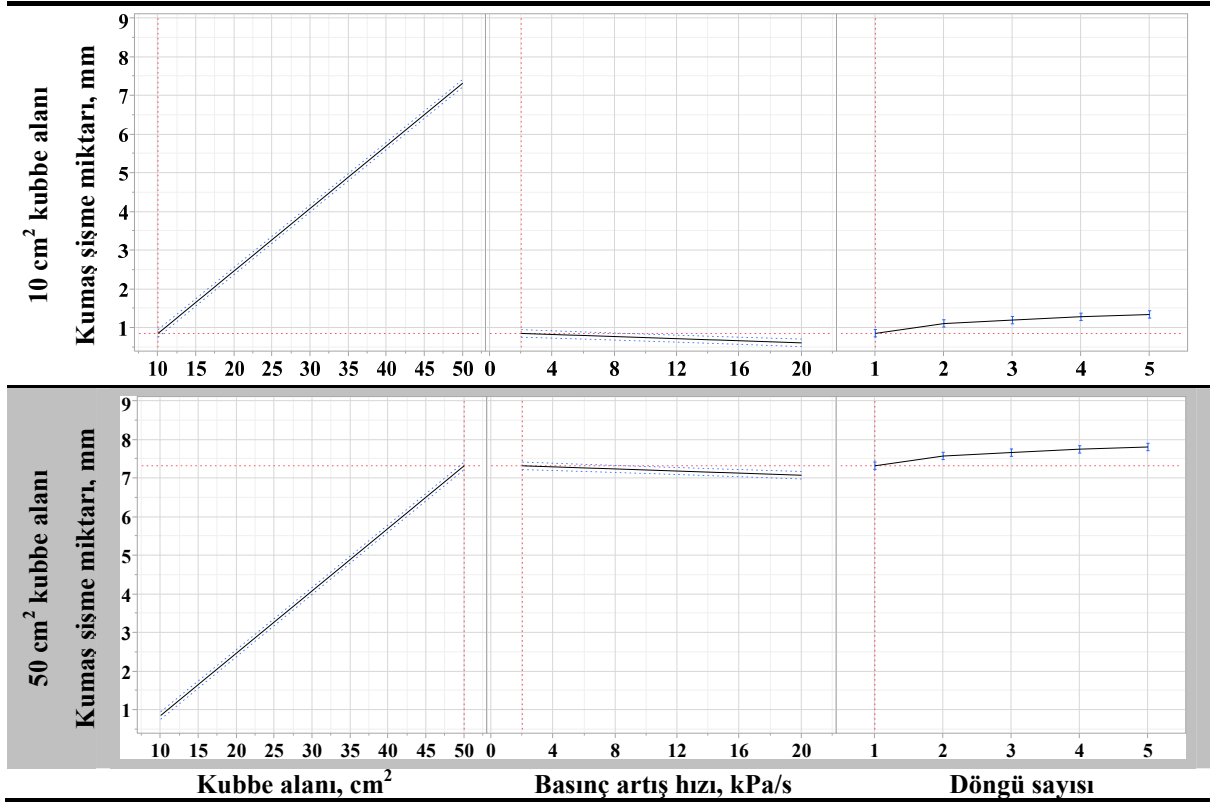
CAM İPLİĞİNDEN DOKUNMUŞ BEZAYAĞI KUMAŞIN ÜÇ BOYUTLU ŞEKİL ALABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Tablo 6. Model bileşenlerinin etki seviyeleri

Model bileşeni	n	d _f	SS	F oranı	p-değeri
Kubbe alanı, cm ²	1	1	2714,49	29896,66	< 0,0001
Basınç artış hızı, kPa/s	1	1	3,86	42,57	< 0,0001
Döngü sayısı	4	4	7,59	20,90	< 0,0001

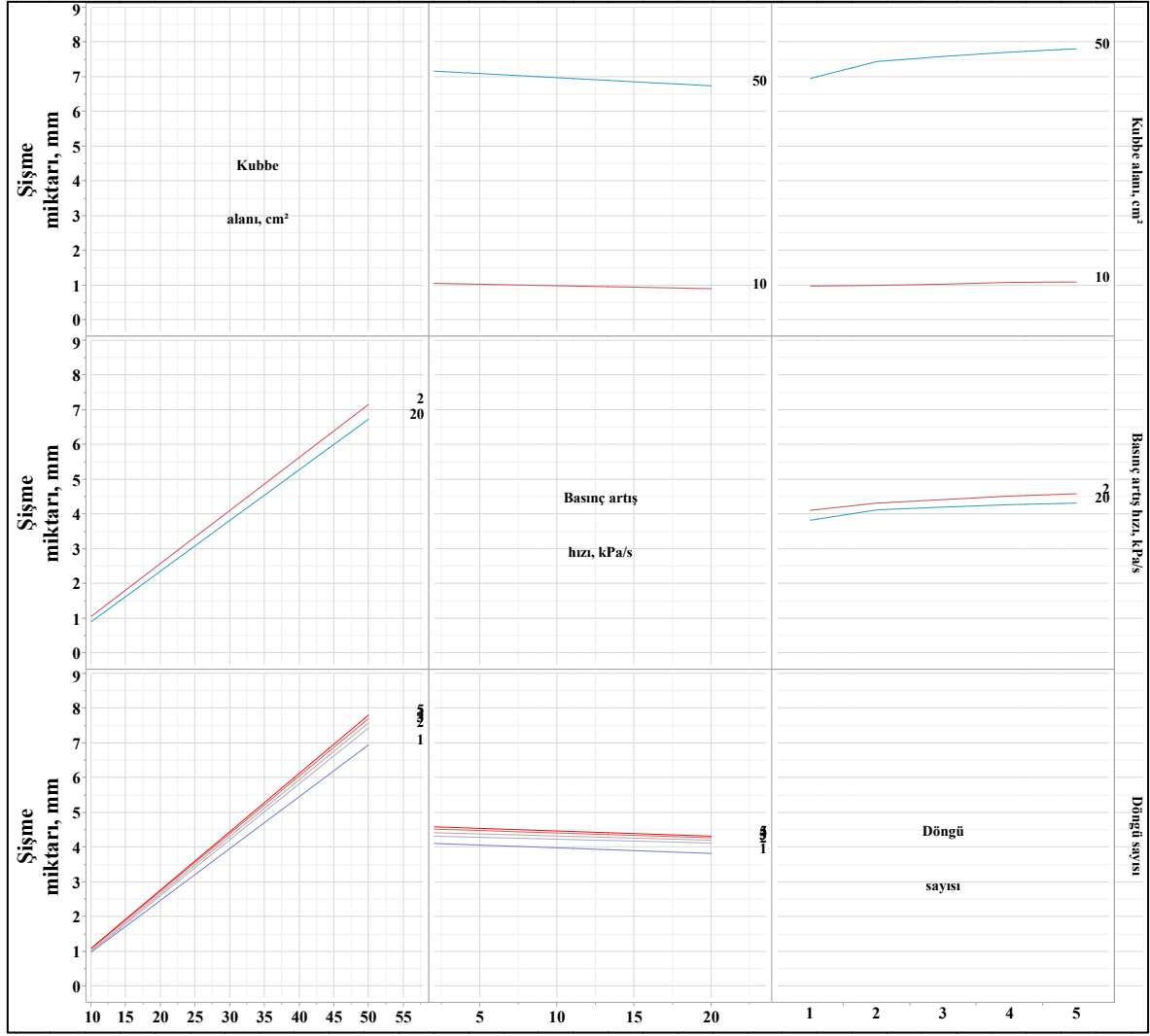
Not: n: parametre sayısı, d_f: serbestlik derecesi, SS: kareler toplamı.

Şekil 10'da verilen tahminleme kesiti, farklı kubbe alanları için; basınç artış hızı ve döngü sayısının kumaş şişme miktarına olan etkilerini göstermektedir. Tüm kubbe alanı seviyeleri için, diğer değişkenler kumaş şişme miktarını aynı şekilde etkilemişlerdir. Kubbe alanı kumaş şişme miktarı üzerinde güçlü bir etki göstermiştir. Basınç artış hızının artırılması kumaşın şekil değişimine uyum sağlamasına zaman tanımayarak kumaş şişme miktarını düşürmüştür. Döngü sayısının artması ile birlikte kumaşta meydana gelen kalıcı şekil bozunumları takip eden döngülerde kumaş şişme miktarlarının artmasına neden olmuştur. Etkileşim grafikleri matrisinde (Şekil 11) görülen paralellikler; girdi değişkenleri arasında belirgin bir etkileşim olmadığını göstermektedir. Şekil 12; kubbe alanının, basınç artış hızının ve döngü sayısının; kumaş şişme miktarı üzerine olan etkilerini üç boyutlu olarak gözler önüne sermektedir.

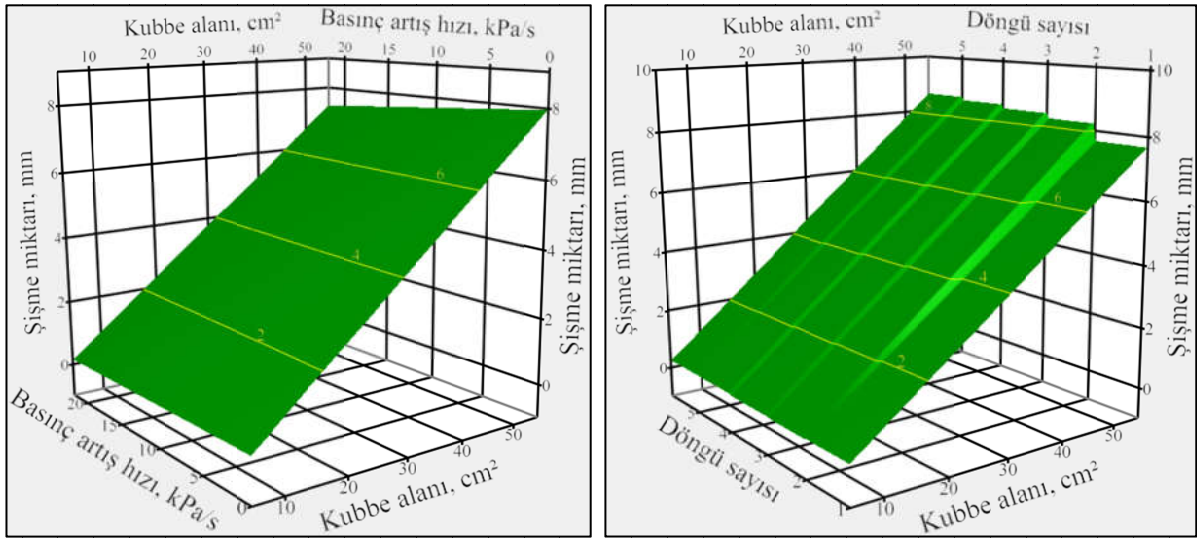


Şekil 10. Kumaş şişme miktarı tahminleme kesiti

Not: Kırmızı dikey kesikli çizgiler, her bir girdi değişkeninin hâlihazırdaki seçilen değerini gösterir. Kırmızı yatay kesikli çizgi ise hâlihazırda yatay eksenlerde seçili olan girdi değişkenleri birleşimine karşılık gelen kumaş şişme miktarını göstermektedir.



Şekil 11. Etkileşim grafikleri matrisi



Şekil 12. Kubbe alanı, basınç artış hızı ve döngü sayısının kumaş şişme miktarına etkileri

CAM İPLİĞİNDEN DOKUNMUŞ BEZAYAĞI KUMAŞIN ÜÇ BOYUTLU ŞEKİL ALABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

4. SONUÇLAR

Kompozit takviye kumaşlarının karmaşık şekilli, çift eğrili ve üç boyutlu kalıplara kırışmadan, katlanmadan, yırtılmadan yatması hem müteakip kompozit üretiminin sorunsuz gerçekleştirilmesi, hem de üretilen nihai ürünün kalitesi ve tek düze mekanik özelliklere sahip olması açısından önemlidir. Kompozit takviye kumaşlarının şekil alabilirliğini inceleme adına literatürde çok farklı yöntemler kullanılmıştır. Klasik tek ve çift eksenli gerilme testi, kayma gerilmesi testi, fotoğraf çerçevesi testi, zemin tekstillerine uygulanan California dayanma testi bunlara örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada cam ipliğinden dokunmuş bezayağı düz dokuma kumaşın yarım küre (3D) şekil alabilirliği kumaş patlatma mukavemeti test cihazında kumaşı patlatmadan maksimum 50 kPa basınca kadar şişirmek suretiyle elde edilen şişme miktarları üzerinden ele alınmıştır.

Bezayağı cam iplik dokuma kumaşın şekil alabilirliğini etkileyen faktörler olarak kubbe alanı (10 ve 50 cm²), basınç artış hızı (2 ve 20 kPa/s) ve döngü sayısı (toplamda 5 döngü) hesaba katılmıştır. Kumaşlar 50 kPa maksimum basınca 2 veya 20 kPa/s basınç artış hızında şişirilmiş ve maksimum basınçta bekleme yapmaksızın derhal sıfır basınca indirilmişlerdir. Her 50 kPa maksimum basınca ulaşıldığında ölçülen yarım küre yüksekliği (mm biriminden şişme miktarı) kumaşın şekil alabilirliğinin bir ölçüsü kabul edilmiştir.

Kumaş, 50 cm²'lik kubbe alanında 10 cm²'lik kubbe alanına nazaran daha fazla şişme sergilemiştir. Alanın artması ile birlikte kumaş daha fazla genişleme imkânı bulmuştur. 50 cm²'lik kubbe alanında ölçülen şişme miktarları normal bir dağılım sergilerken, 10 cm²'lik kubbe alanında yapılan ölçümler normal bir dağılım sergilememiştir. Bu sonuç geniş kubbe alanında daha fazla desen tekrarı bulunmasından ötürü kumaşın basınç artışına daha istikrarlı cevap verdiği şeklinde yorumlanmıştır. Yüksek basınç artış hızında kumaş daha az şişme sergilemiştir. Dolayısıyla kumaşın kalıba daha iyi oturmasını sağlamak adına basınç artış hızı yüksek seçilmemelidir. Düşük basınç artış hızlarında kumaş kalıba uyum sağlama ve kalıba uygun olarak şekil evrimi geçirme adına daha fazla zaman bularak daha fazla deforme olabilmektedir. Döngü sayısının artması ile birlikte kumaş şişme miktarı da artış göstermiştir. Bu sonuç takviye kumaşının kalıba tam olarak oturmasını sağlamak için kumaşın kalıba yatırma işleminin birden fazla tekrarlı olarak yapılması gerektiğini göstermiştir. Elde edilen bu bulgular karmaşık şekilli kompozit malzeme üreten üreticiler için faydalı pratik bilgiler içerirken, kompozit takviye kumaşlarının üç boyutlu şekil alabilirliğinin incelenmesinde kumaş patlatma test cihazının test zamanından ve maliyetinden tasarruf sağlanarak, tek bir yargı değeri (şişme miktarı) üzerinden kullanılabilirliğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] CHAWLA, K.K., Composite materials: science and engineering (2nd ed.), Springer, New York, USA, 1998.
- [2] MAZUMDAR, S.K., Composites manufacturing: materials, product, and process engineering (2nd ed.), CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2002.
- [3] LOMOV, S.V., VERPOEST, I., “Modelling of the internal structure and deformability of textile reinforcements: WiseTex software”, Proceedings of the Composites for the Future, 10th European Conference on Composite Materials (ECCM-10). Bruges, BE, June 3-7, 2002.
- [4] WILLEMS, A., LOMOV, S.V., YINGBO, Z., VERPOEST, I., VANDEPITTE, D., “Deformability characterization of fabrics using large and small scale full field optical strain measurements”, Proceedings of the European conference on composite materials (ECCM-12). Biarritz, 2006.
- [5] WILLEMS, A., LOMOV, S.V., VERPOEST, I., VANDEPITTE, D., “Optical strain fields in shear and tensile testing of textile reinforcements”, Composites Science and Technology, 68, 807-819, 2008.
- [6] LOMOV, S.V., BOISSE, P., DELUYCKER, E., MORESTIN, F., VANCLOOSTER, K., VANDEPITTE, D., WILLEMS A., “Full-field strain measurements in textile deformability studies”, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 39, 1232-1244, 2008.
- [7] SAVCI, S., CURISKIS, J.I., PAILTHORPE, M.T., “A study of the deformation of weft-knit preforms for advanced composite structures Part 1: Dry preform properties”, Composites Science and Technology, 60, 1931-1942, 2000.
- [8] SAVCI, S., CURISKIS, J.I., PAILTHORPE, M.T., “A study of the deformation of weft-knit preforms for advanced composite structures Part 2: The resultant composite”, Composites Science and Technology, 60, 1943-1951, 2000.
- [9] SAVCI, S., CURISKIS, J.I., PAILTHORPE, M.T., “Formability of weft knitted preforms”, Proceedings of the International Committee on Composite Materials (ICCM 12) Conference, 1-10. Paris, Fransa, Temmuz 1999.

M.E. İNCE

- [10]ZHONG, T., HU, H., “Formability of weft-knitted fabrics on a hemisphere”, Autex Research Journal, 8, 245-251, 2007.