



**TEKSTİL VE MÜHENDİS**  
**(Journal of Textiles and Engineer)**

<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>



---

**Kumaşların Kayma Deformasyonu ve Ölçüm Yöntemleri**

**Shear Deformation and Test Methods of Fabrics**

Nazlı ÜREN, Ayşe OKUR  
Dokuz Eylül Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 29 Eylül 2014 (29 September 2014)

---

**Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):**

Nazlı ÜREN, Ayşe OKUR (2014): Kumaşların Kayma Deformasyonu ve Ölçüm Yöntemleri, Tekstil ve Mühendis, 21: 95, 51-65.

**For online version of the article:** <http://dx.doi.org/10.7216/130075992014219506>



**Derleme Makale / Review Article**

# KUMAŞLARIN KAYMA DEFORMASYONU VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

**Nazlı ÜREN\***  
**Ayşe OKUR**

Dokuz Eylül Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

*Gönderilme Tarihi / Received: 27.05.2014*  
*Kabul Tarihi / Accepted: 15.09.2014*

**ÖZET:** Kayma davranışı, tekstil ürünlerini plastik ve kâğıt gibi yüzeylerden ayıran en önemli özelliklerden biridir. Kayma deformasyonu, kumaşların dökümlülük, katlanabilirlik ve tutumunu etkileyen önemli bir parametredir. Bunun yanı sıra kayma direnci, dokuma kumaşların eğilme ve mukavemet özelliklerini etkilemektedir. Bu çalışmada kayma deformasyonuna ilişkin kavramlar açıklanmış, kabuller ve modeller özetlenmiş, kayma deformasyonu ölçüm yöntemleri ve prensipleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Ölçüm yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları ele alınarak yöntemler karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kumaş kayma deformasyonu, kayma direnci, kayma testi, kayma açısı

## SHEAR DEFORMATION AND TEST METHODS OF FABRICS

**ABSTRACT:** Shear behaviour is one of the most important properties that make fabrics unique among paper or plastic products. Shear deformation is an important parameter that defines the handle, pliability and drape of the fabrics. On the other hand, shear rigidity influences the strength and bending properties of woven fabrics. In this article the terms about shear deformation are explained, assumptions and models are summarised, shear deformation testing devices and their principles are examined. The advantages and disadvantages of the test methods are also considered and compared.

**Keywords:** Fabric shear deformation, shear rigidity, shear test, shear angle

---

\* *Sorumlu Yazar/Corresponding Author:* nazli.uren@deu.edu.tr  
*DOI:* 10.7216/130075992014219506, [www.tekstilvemuhendis.org.tr](http://www.tekstilvemuhendis.org.tr)

## 1. GİRİŞ

Belirli yönde kuvvetlere maruz kalan bir yüzeyin, yüzey içi hareketler ile yeniden şekil alabilme yeteneğini, yüzeyi oluşturan materyalin kayma davranışı belirlemektedir. Bu yönüyle kayma davranışı, tekstil ürünlerini plastik, kağıt vb yüzeylerden ayıran önemli bir özelliktir. Kayma deformasyonu kumaşların görünüm ve performansına etki eden önemli parametrelerden biridir. Kayma davranışı; başta dökümlülük, şekil alabilme ve tutum olmak üzere pek çok kumaş özelliğini etkilemektedir.

### 1.1. Kayma Deformasyonu

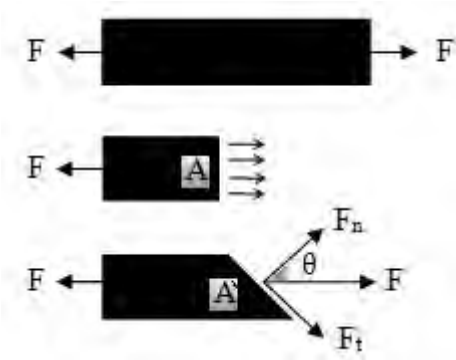
Kayma deformasyonunun tam olarak anlaşılması bakımından, fizikte kesme zoru (kayma gemesi), kesme zorlanması (kayma deformasyonu) ve kesme modülü (kayma direnci) olarak adlandırılan kavramların kısaca tanımlanmasında fayda vardır.

#### Kesme zoru:

Rijit cisimler kuvvet etkisi ile şekil değiştirmez. Kuvvet etkisi ile şekli değişebilen cisimleri tanımlamak için esneklik kavramı kullanılır. Gerilme zoru, sıkışma zoru ve kesme zoru, esnek cisimlerde şekil değişikliğine sebep olan başlıca etmenlerdir.

$$S = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Kesiti A olan bir çubuğa iki tarafından eşit ve zıt yönde F kuvveti uygulandığında A kesitine etki eden kuvvet bir gerilme zoru (S) meydana getirir. Kesitteki zor, kuvvetin (F) alana (A) oranı ile ifade edilir. Şekil 1'de gerilme zoru altında bulunan bir çubuğun A ve A' kesitlerine etki eden kuvvetler görülmektedir.



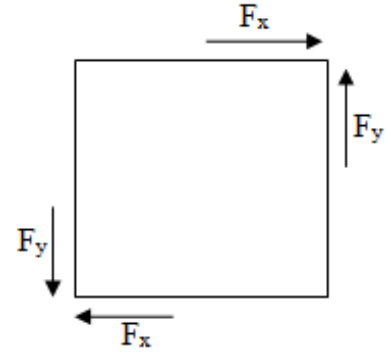
Şekil 1. Gerilme zoru altında bulunan bir çubuğun temsili gösterimi [1].

Gerilme zoru altında bulunan çubukta alınan eğik A' kesitindeki zorları incelediğimizde, biri normal zor ( $S_n$ ) diğeri teğetsel zor ( $S_t$ ) olan iki bileşene ayrıldığını görürüz. Teğetsel zor, kesme zoru olarak da adlandırılır.

$$S_n = \frac{F_n}{A'} \quad (2)$$

$$S_t = \frac{F_t}{A'} \quad (3)$$

Bir cismin karşılıklı yüzeylerine  $F_x$  ve  $F_y$  kuvvetleri teğetsel olarak etki etmekte iken, çubuk kesme zoru etkisi altındadır. Şekil 2'de  $F_x$  ve  $F_y$  kuvvetleri ve kesme zoru etkisi altındaki bir çubuğun kesiti görülmektedir.

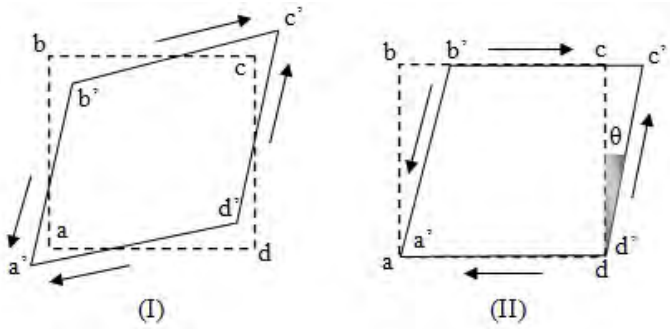


Şekil 2. Kesme zoru altında bulunan bir çubuğun kesiti [1].

#### Kesme zorlanması:

Zorlanma terimi bir cismin boyutlarında veya şeklindeki bağıl değişmeyi ifade eder. Her zora karşı bir zorlanma vardır. Zor tatbik edilmeden önceki abcd kesiti, kesme zoru etkisi altında a'b'c'd' şeklini alır. Kesme zoru altında bulunan bir çubuğun kesitindeki değişimin gösterildiği Şekil 3'te birinci durumda (I) kesitin merkezi değişmezken, ikinci durumda (II) ad ve a'd' kenar uzunluğu sabit kalmıştır.

Kesme zoru altında yüzeysel boyutlar oldukça sabit kalır fakat ac köşegeni doğrultusundaki boyutlar uzar ve bd köşegeni doğrultusundaki boyutlar kısalmıştır. Bu tip zorlanmaya kesme zorlanması denir. Kesme zorlanması, kesme açısının tanjantı ile ifade edilir. Kesme açısının çok küçük olduğu durumlarda, kesme zorlanması radyan cinsinden  $\theta$  olarak kabul edilebilir.

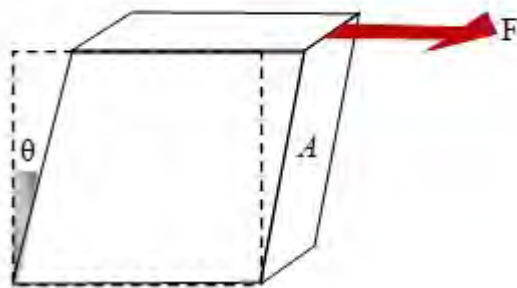


Şekil 3. Kesme zoru altında bulunan bir çubuğun kesitindeki şekil değişimi [1].

### Kesme modülü:

Esneklik sınırları içerisinde zorun zorlanmaya oranı esneklik modülü olarak adlandırılır (Hooke Kanunu). Her malzemenin belli bir esneklik modülü vardır. Kesme zorunun kesme zorlanmasına oranı, kesme modülü (G) olarak adlandırılır. Kesme modülünün birimi kesme zorunun birimi ile aynıdır. Cisimlerin kesme modülü genelde Young modülünün yarısı ile üçte biri arasında bir değer alır. Kesme modülü (G); kesme kuvveti (F), kuvvetin uygulandığı alan (A) ve kayma açısı (θ) kullanılarak hesaplanabilir. Şekil 4'te kayma zoru, alan ve kayma açısı temsili olarak gösterilmiştir.

$$G = \frac{F/A}{\tan\theta} \quad (4)$$

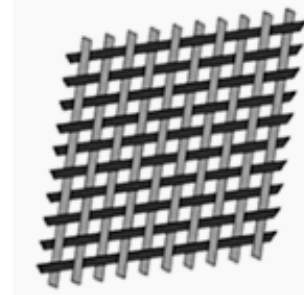


Şekil 4. Dikdörtgen prizması biçimli cisimde kayma deformasyonu.

## 1.2. Tekstillerin Kayma Deformasyonu

Kayma deformasyonu, kumaşların en ve boy doğrultuları ile açı yapan doğrultuda uygulanan kuvvetlerin etkisi altında gerçekleşen yüzey deformasyonudur. Günlük kullanımda kumaşlar, kayma deformasyonu dahil olmak üzere, pek çok farklı deformasyona ma-

ruz kalmaktadır. Dokuma kumaşlar, birbirine dik doğrultuda yerleşmiş atkı ve çözgü iplikleri ile oluşturulan yüzeylerdir. Dokuma kumaştaki kayma deformasyonu, atkı ve çözgü ipliklerinin kuvvet etkisi altında bağlantı noktalarında yön değiştirmesidir. Kayma davranışı; uygulanan gerilim, test edilen numunenin boyutları ve kumaş sıklığından etkilenmektedir. Hammadde, iplik sürtünme katsayısı vb parametreler de kayma deformasyonu üzerinde etkilidir. Şekil 5'te dokuma kumaşta gözlemlenen kayma deformasyonu temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 5. Bezayağı örgü raporuna sahip dokuma kumaştaki atkı ve çözgü ipliklerinin kayma deformasyonu sonrasında ki konumu.

Tekstilde kayma deformasyonu söz konusu olduğunda, fizikte kullanılan terimlere karşılık gelen farklı isimlendirmeler karşımıza çıkmaktadır. Her hangi bir kavram karmaşasını önlemek üzere, kayma deformasyonu ve test yöntemlerini incelemeye önce bu terimlerin açıklanmasında fayda vardır. Tekstillerin kayma deformasyonu söz konusu olduğunda karşımıza çıkan bazı genel kavramlar ve bu kavramların tanımları aşağıda belirtildiği şekildedir;

**Basit kayma:** Dikdörtgen prizması biçimli bir cisim yalnızca iki dik eksen doğrultusunda gerilmeye uğradığında gözlemlenen kaymadır. Gerilmeler eşit ve ters yönlüdür [2].

**Kayma kuvveti (P):** Bir yüzeye yalnızca iki dik eksen doğrultusunda uygulanan kuvvet çiftidir. Kayma kuvvetine kesme kuvveti ya da makaslama kuvveti de denir.

**Kayma gemesi:** Kayma kuvveti etkisi ile gözlemlenen germedir. Vektörel bir büyüklük değildir. Kayma gemesine kayma zoru veya kesme zoru da denir.

**Kayma deformasyonu:** Bir yüzeye, yalnızca iki dik eksen doğrultusunda kuvvet etki ettiğinde gerçekleşen yüzey deformasyonudur [3]. Kayma deformasyonuna kayma gerilmesi, kayma zorlanması veya kesme zorlanması da denir. Şekil 6'da kayma deformasyonuna ilişkin bazı kavramlar görülmektedir.

**Kayma açısı ( $\theta$ ):** Kayma kuvveti etkisi ile yüzeyde gözlemlenen açı değişimidir. Kesme açısı da denir. Kayma deformasyonu, kayma açısının tanjantı cinsinden ifade edilir. Açının çok küçük olduğu durumlarda kayma deformasyonu radyan cinsinden kayma açısına eşit kabul edilebilir.

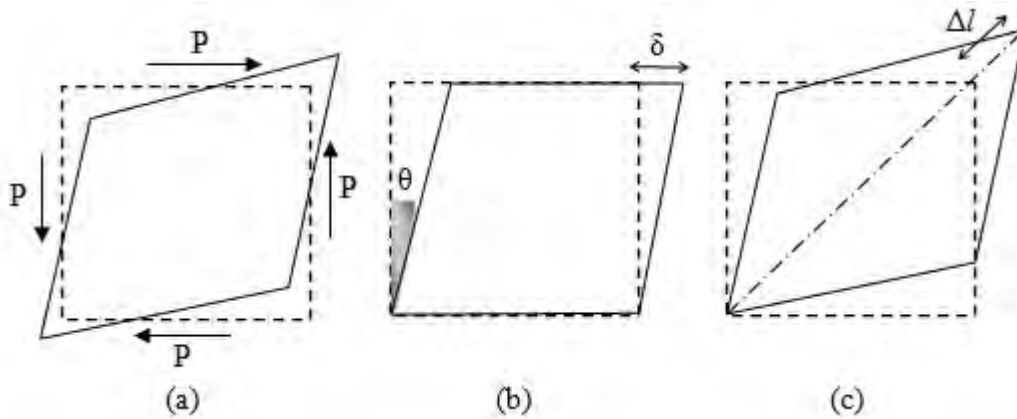
**Yer değiştirme ( $\delta$ ):** Kayma kuvveti etkisi ile yüzeyde gözlemlenen kayma deformasyonunu, yüzeydeki bir noktanın ilk konumu ile son konumu arasındaki fark olarak ifade eden değerdir.

**Köşegendeki boyut değişimi ( $\Delta l$ ):** Kayma kuvveti etkisi altındaki yüzeyin, köşegeninin ilk uzunluğu ile son uzunluğu arasındaki farktır.

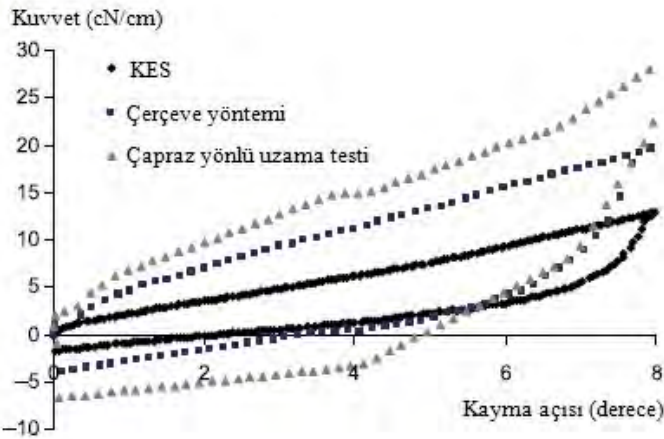
**Kayma direnci:** Kayma deformasyonu esnasında materyalin kayma kuvvetine gösterdiği dirençtir. Kayma rijitliği, kayma modülü veya kesme modülü olarak da adlandırılır. Kayma direnci, kayma germesinin kayma deformasyonuna oranına eşittir.

**Kayma histeresizi:** Kayma deformasyonu esnasında harcanan enerjidir. Şekil 7'de örnek bazı kayma histeresiz eğrileri görülmektedir.

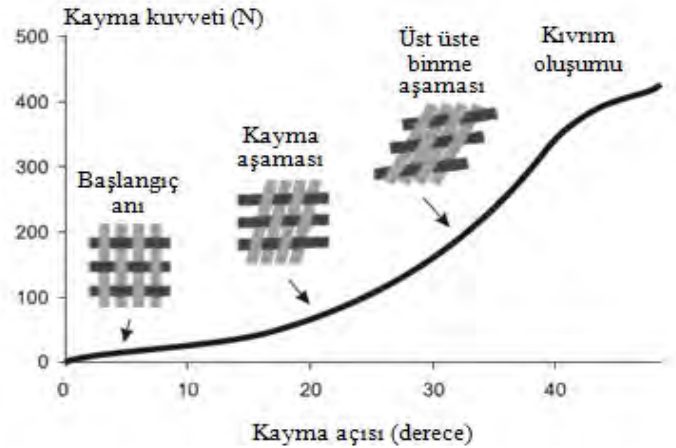
**Kritik kayma açısı:** Dokuma kumaşlarda kayma deformasyonu esnasında atkı ve çözgü ipliklerinin birbiri üzerine binmeye başladığı andaki kayma açısıdır. Şekil 8'de kritik kayma açısı görülmektedir.



Şekil 6. Kayma kuvveti etkisi altında gerçekleşen (a) P: kayma kuvveti, (b)  $\theta$ : kayma açısı,  $\delta$ : kayma yer değiştirmesi, (c)  $\Delta l$ : köşegendeki boyut değişimi.



Şekil 7. Aynı numune için farklı ölçüm yöntemleri ile elde edilen histeresiz eğrileri [4].



Şekil 8. Dokuma kumaşlarda kayma kuvveti kayma açısı ilişkisi [5].

**Küçük kayma deformasyonu:** Kritik kayma açısının aşılmadığı durumlarda gözlemlenen kayma deformasyonudur.

**Büyük kayma deformasyonu:** Kritik kayma açısının aşıldığı durumlarda gözlemlenen kayma deformasyonudur.

## 2. KAYMA DEFORMASYONUNUN MODELLENMESİ

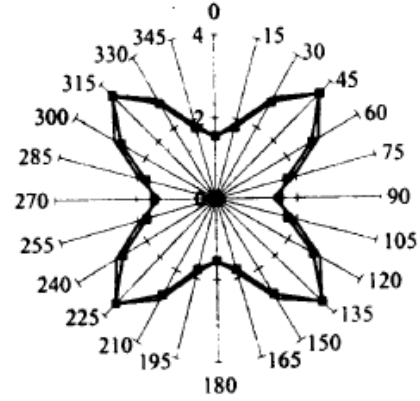
Kumaş yapısı ve kumaş içerisindeki ipliklerin konumu kumaş geometrisi olarak adlandırılır. Kayma deformasyonunun öngörülmesinde, kumaş geometrisi büyük rol oynar. Kayma deformasyonunun doğru şekilde ifade edilmesi ve anlaşılması bakımından, kayma deformasyonu mekanizmasının ve ölçüm yöntemlerinin hangi kabuller ve modeller esas alınarak tasarlandığı bilinmelidir. Araştırmalarda yaygın olarak kullanılan Weissenberg, Chadwick ve Shorter'ın teorisidir. Bu teori, ipliklerin bağlantı noktalarında yön değiştirdiği, bağlantı noktalarında birbiri üzerinden kaymadığı, ipliklerin uzatılmadığı ve kumaşın birim hücreindeki iplikler arasındaki mesafenin sabit kaldığı kabulüne dayanır [6].

Treloar 1965 yılında yaptığı çalışmada, numune boyutlarının kayma deformasyonu davranışı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Kumaşta dalgalanma oluşmadan elde edilebilecek maksimum kayma gerilmesinin numune boyutlarına ve numunenin en boy oranına bağlı olduğunu belirtmiştir [7].

McBride ve Chen 1997 yılında yaptıkları çalışmada, kayma esnasındaki kumaş geometrisini incelemiştir. Dokuma kumaşın birim hücresi için geometrik bir model önermişlerdir. Model, kayma deformasyonu esnasında iplik eni, iplik mesafesi ve kumaş yüksekliğinin ölçülebildiği kabulüne dayanmaktadır. Bu çalışmada, kayma açısı arttıkça birim hacimdeki lif yoğunluğunun arttığı saptanmıştır [8].

Lo ve Hu tarafından 2002 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada, atkı ve çözgü yönünün yanı sıra; 15, 30, 45, 60 ve 75 derece açı ile kesilen numunelerin kayma deformasyonu ve kayma histeresizi ölçülmüştür. Sonuçlar bir kutupsal diyagram ile ifade edilmiştir. Kumaşın farklı açılardaki kayma davranışı matematiksel

olarak modellenmiş ve modelin deneysel sonuçlar ile uyumlu olduğu ortaya konmuştur. Şekil 9'da kutupsal diyagrama bir örnek görülmektedir [9].



Şekil 9. Bezayağı kumaşın kayma direncinin kutupsal diyagramı [9].

Mevcut pek çok model küçük deformasyonları kapsayan kinematik ve geometrik analizlere dayanmaktadır. Küçük kayma deformasyonlarında bu kabullerden pek çoğu genelde doğru olsa da, kritik kayma açısının aşıldığı daha büyük deformasyonlarda yetersiz kalmaktadır. Dolatabadi ve arkadaşları 2006 yılında iki boyutlu bir model oluşturarak kayma açısı ile gerilme arasındaki ilişkiyi incelemiştir. İpliklerin bağlantı noktalarında yön değiştirdiği fakat birbiri üzerinden kaymadığı kabulüne dayanan bu modelin, ipliklerin üst üste bindiği andan itibaren gözlemlenen kumaş sıklığını doğru simule edemediği saptanmıştır [10].

Dolatabadi ve Kovar, 2009 yılında yayınladıkları çalışmada kumaş geometrisini ve kayma deformasyonu esnasında kumaş geometrisinde gözlemlenen değişimi 3 boyutlu olarak modellemiştir. Dolatabadi ve Kovar, kayma deformasyonu davranışının kumaş sıklığı ile doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Yapılan çalışmada deneysel sonuçlar, 3 boyutlu model ile öngörülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Kumaşın başlangıç durumundaki veriler modele veri olarak girildiğinde kumaş geometrisinin oldukça doğru bir şekilde simule edilebileceği ortaya konmuştur [11].

## 3. KAYMA DEFORMASYONUNUN ÖLÇÜLMESİ

Tekstillerde kayma deformasyonu 60 yılı aşkın süredir araştırma konusu olmuş, modellenmesi ve ölçü-



müne yönelik pek çok teori geliştirilmiştir. Kayma deformasyonunun sayısal olarak ifade edilebilmesi ve objektif olarak ölçülmesi alanında yapılan ilk çalışmalar 1950'li yıllarda gerçekleştirilmiştir.

Katı cisimlerde görülen ve basit kayma olarak adlandırılan düzlemsel deformasyon koşullarını katı cisim davranışı göstermeyen tekstillerde oluşturmak ve gözlemlemek oldukça zordur. Kayma kuvvetinin etkisi altında kalan kumaşlar kıvrılma ya da düzlemi dışına eğilme şeklinde farklı ve istenmeyen deformasyonlar gösterme eğilimindedir. Bu nedenle kayma deformasyonunun ölçülmesinde basit kayma koşullarını oluşturacak bir test yöntemi geliştirilmesi oldukça güçtür.

Kayma esnasında kumaş geometrisi iki boyutlu veya üç boyutlu olarak incelenebilir. İki boyutlu ölçümler ile ipliklerin kayma açısı, iplik sıklığı ve numunedeki boyut değişimine ilişkin veriler elde edilir. Tekstil yüzeylerinde üçüncü boyutun kayma deformasyonuna etkisinin düşük olduğu kabul edilerek, küçük kayma deformasyonlarına ilişkin test yöntemleri iki boyutlu kabullere göre geliştirilmiştir.

Treloar, Morner ve Kawabata gibi araştırmacılar, kumaşların kayma davranışını inceleyebilmek için farklı test aparatları geliştirmişlerdir [7, 12, 13]. Cusick ve arkadaşları, kayma sırasında bağlantı noktalarında ipliklerin yön değiştirmesinden kaynaklanan sürtünme kuvvetlerini incelemiştir. Bu bilgiden yola çıkarak kayma özelliklerini ölçmeye yönelik bir model oluşturmuşlardır [14].

Kayma deformasyonu sırasında sıkıştırma kuvvetlerinin etkisinde kalan numune kıvrılma eğilimine girer. Bu etkinin giderilmesi için kumaşa eksenel yönde bir germe kuvveti uygulanır. Böylece kumaşı sıkıştıran kuvvet en aza indirgenecek ve test sırasında kumaşın düzlemsel durumu korunacaktır. Diğer yandan kumaş örneğinin boyutları da uygun test koşullarını sağlamak ve tekrarlanabilir sonuçlar elde etmek açısından önem kazanmaktadır.

Kayma deformasyonunun ölçülmesi ve kayma direncinin hesaplanmasında kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları deneme aşamasında, bazıları ise ticarileşmiş durumdadır. Tablo 1.'de bilinen bazı kayma deformasyonu ölçüm yöntemleri görülmektedir.

### 3.1. Basit Kayma Testi

İlk olarak 1957 yılında Morner [12] ve arkadaşları tarafından kayma deformasyonu ölçümünde kullanılan, daha sonra Behre [15], Spivak [16], Treloar [7], Cusick [14] ve Kawabata [13] gibi araştırmacılar tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntemde, numune atkı ve çözgü yönlerine paralel olacak şekilde kare ya da dikdörtgen biçiminde kesilir. İki kenardan biri sabit diğeri hareketli iki çene tarafından tutulan numuneye, bir kenarın doğrultusunda kayma kuvveti uygulanır. Ayrıca, kumaşın kayma esnasında kıvrım oluşturmasını önlemek üzere, çeneler tarafından kayma kuvvetine dik doğrultuda bir germe kuvveti uygulanır. Somodi ve arkadaşları, KES sonuçlarını optimize etmeye yönelik dokuma kumaşların mikromekanik dayanım modelini oluşturmuşlardır [17]. Pramanik ve Patil küçük deformasyonlardaki kumaş davranışını incelemiştir [18].

#### Treloar'ın basit kayma test aparatı:

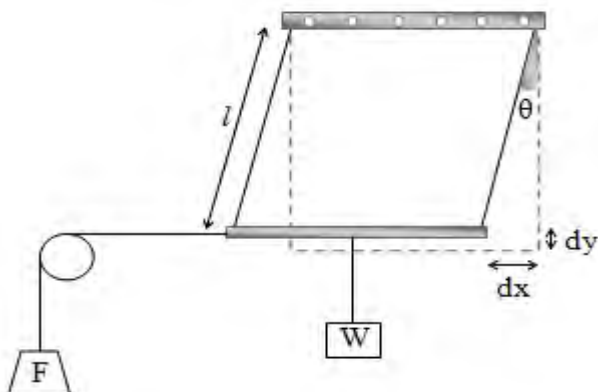
Kumaş kayma rijitliğinin ölçümüne temel olan ilkeleri incelemek için Treloar bir kayma gerilmesi test cihazı tasarlamıştır. Bu test aparatında kumaş numunesi yaklaşık 20 cm uzunluğundaki sabit bir üst tutucu çubuğa sabitlenir. Aynı uzunlukta ve 20 g ağırlıkta bir diğer çubuk tarafından kumaşın alt kenarı tutulur. Germe kuvveti (W) kumaşın alt ucunun ortasındaki bir delikten sarkıtılan ipe bağlıdır. Kumaşın alt ucuna yatay F kuvveti uygulanır. Numune ölçüleri 20x20 cm<sup>2</sup> ya da 20 cm en ve 2 cm boy olacak şekilde hazırlanır. Uygulanan germe kuvveti 20 g ile 400 g arasında değişmektedir. Yatay ve düşey yer değiştirmeler hareketli bir mikroskopla ölçülür [3]. Şekil 10'da Treloar'ın kayma gerilmesi test aparatı görülmektedir.

F kuvvetinin uygulandığı nokta kuvvet yönünde dx kadar yer değiştirdiğinde W kuvveti düşey yönde dy kadar yer değiştirir. Bu durumda kuvvetin yaptığı iş  $Fdx$ , germe ağırlığının potansiyel enerji değişimi de  $Wdy$  olur. Bu iki iş arasındaki fark, kumaşta biçim değişikliğini sağlayan iş ( $U_k$ ) olacak ve eğer kumaşın elastik davrandığı varsayılırsa o zaman bu iş kumaşta biriken elastik enerjiyi verecektir. Kayma kuvveti (S), uygulanan F kuvveti ile W ağırlığının tanjant  $\theta$  ile çarpımının farkına eşittir.

**Tablo1.** Kayma deformasyonu ölçüm yöntemleri.

<b>Basit kayma testi (Simple shear)</b>				
	<b>Treloar</b>	<b>Kawabata (KES F)</b>		
Uygulanan kuvvetin açısı	Atkı ve çözgü iplikleri kuvvet doğrultusuna dik veya paraleldir.	Atkı ve çözgü iplikleri kuvvet doğrultusuna dik veya paraleldir.		
Ölçüm prensibi	Çeneler tarafından iki kenarından tutulan kumaşın, tek bir yönde sabit hızla çekilmesi.	Çeneler tarafından iki kenarından tutulan kumaşın, tek bir yönde sabit hızla çekilmesi. Kuvvet etkisi altında numune eni sabit kalır.		
Efektif ölçüm alanı (mm <sup>2</sup> )	200x200, 200x20	50x200		
<b>Çapraz yönlü uzama testi (Bias extension shear)</b>				
	<b>FAST</b>	<b>Ckhadwic</b>		
Uygulanan kuvvetin açısı	Atkı ve çözgü iplikleri kuvvet doğrultusu ile 45° açı yapar.	Atkı ve çözgü iplikleri disk düzlemi ile 45° açı yapar.		
Ölçüm prensibi	Çeneler tarafından iki kenarından tutulan kumaşın çapraz yönde çekilmesi. Numune boyu numune eninin 10 katıdır.	Disk şeklindeki döner çeneler tarafından tutulan kumaşın çapraz yönde çekilmesi. Numune silindirik formunda dikilir.		
Efektif ölçüm alanı (mm <sup>2</sup> )	10x100, 15x150, 20x200	-		
<b>Kayma çerçevesi testi (Picture frame shear)</b>				
	<b>Lussier ve Chen</b>	<b>Jiaming</b>	<b>Abed</b>	<b>Cavallaro</b>
Uygulanan kuvvetin açısı	Atkı ve çözgü iplikleri çerçeveye dik veya paraleldir.			Atkı ve çözgü iplikleri çenelere dik veya paraleldir.
Ölçüm prensibi	Çerçeve ile dört kenarından tutulan kumaşın diyagonal yönde çekilmesi. Test örneğinin alanı sabit kalır ( <i>kafes modeli kabulü</i> ).			Çeneler ile dört kenarından tutulan kumaş içerisindeki ipliklerin açısının, çenelerin bağlı olduğu kolların rotasyonu ile değiştirilmesi.
Efektif ölçüm alanı (mm <sup>2</sup> )	300x300* 216x216*	200x200	100x100	-
<b>İplik çekme yöntemi (Yarn Pull-out Method)</b>				
	<b>Bilişik</b>			
Uygulanan kuvvetin açısı	Atkı iplikleri kuvvet doğrultusuna dik, çözgü iplikleri kuvvet doğrultusuna paraleldir.			
Ölçüm prensibi	Kumaş numunesinden saçak oluşturacak şekilde ipliklerin sökülmesi ve saçığın ortasında kalan ipliklerden bir grubun kumaştan yukarıya doğru çekilmesi. Basit kayma kabulü.			
Efektif ölçüm alanı (mm <sup>2</sup> )	5x10, 5x20, 5x30, 15x10, 15x20, 15x30, 30x10, 30x20, 30x30			

\*Ölçüler çerçeve boyutu olup, efektif ölçüm alanını belirtmemektedir.



**Şekil 10.** Treloar'ın kayma gerilmesi test cihazı [3].

Kayma kuvveti ( $S$ ), kenar uzunluğuna ( $l$ ) bölüldüğünde kayma germesi bulunur. Birimi g-kuvvet/cm'dir. Eğer kumaşın kalınlığı da göz önünde bulundurulursa bu durumda kayma kuvveti kumaşın yanal alanına bölünür. Yanal alan, kenar uzunluğu ( $l$ ) ile kumaş kalınlığının çarpımına eşittir. Bu şekilde hesaplanan kayma germesinin birimi g-kuvvet/cm<sup>2</sup>'dir. Daha önce de belirtildiği gibi tekstillerin kayma deformasyonunda üçüncü boyut ihmal edilmektedir. Bu sebeple yapılan araştırmalarda, kayma germesi daha ziyade  $S/l$  olarak ifade edilmektedir.



$$S = F - W \cdot \tan\theta$$

$$U_k = F \times dx - W \times dy$$

$$U_k = S \times dx$$

$$S = \frac{U_k}{dx} = \frac{F \times dx - W \times dy}{dx} = F - Wx \frac{dy}{dx}$$

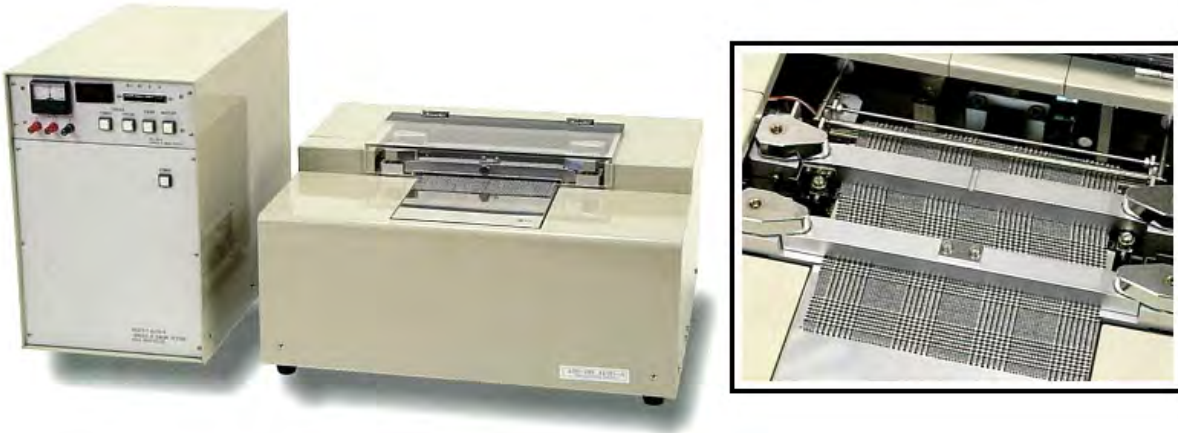
$$\tan\theta = \frac{dy}{dx}$$

### Kawabata'nın basit kayma test aleti:

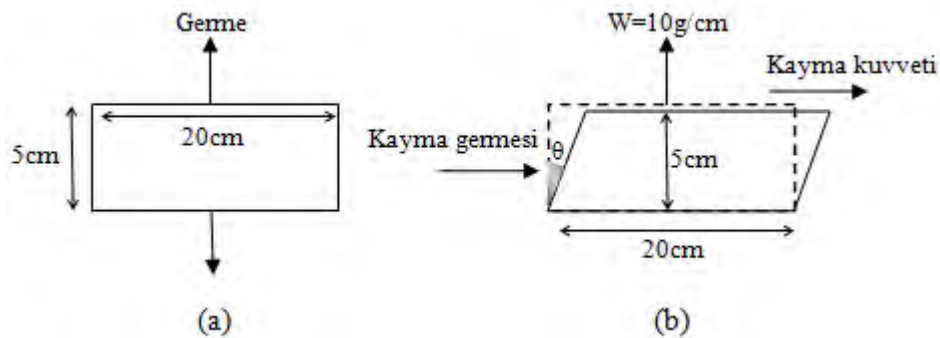
En yaygın olarak kullanılan ve ticari anlamda kabul gören basit kayma test cihazı, Kawabata tarafından geliştirilen KES (Kawabata Evaluation Systems) cihazıdır (Şekil 11). Bu cihaz ile ölçüm yapılırken, test örneğinin eni sabittir. Yöntem, çeneler tarafından iki kenarından tutulan kumaşın, tek bir yönden sabit hızla çekilmesi prensibine dayanır.

- (5) Basit kayma testinde numune hazırlığı oldukça kolaydır. Numune 20x20 cm<sup>2</sup> ebatlarında kesilir fakat kayma deformasyonu için efektif ölçüm alanı 20x5 cm<sup>2</sup>'dir.
- (6)
- (7) Çeneler tarafından uzun kenarlarından tutulan kumaş numunesine 10 g/cm'lik bir germe uygulanır. Kumaşı tutan üst çene sağa doğru hareket eder. Kayma kuvveti etkisi altında gözlemlenen bu hareket sonucunda kayma deformasyonu gerçekleşir (Şekil 12).
- (8)
- (9)

Yapılan araştırmalar, basit kayma testi sonucunda elde edilen kayma deformasyonunun üniform olmadığını göstermektedir. Hu ve Zhang, KES test örneğindeki gerilimleri incelemiş, kenar bölgelerinin varlığı ve kayma ile germe kuvvetlerinin aynı anda etki etmesi sebebiyle, kumaş örneğinin test esnasında üniform bir kaymaya maruz kalmadığı sonucuna varmıştır [20].



Şekil 11. KES basit kayma testi aleti [19].



Şekil 12. KES ile basit kayma testi (a) efektif ölçüm alanı, (b) kayma kuvvetlerinin etkisi [19].

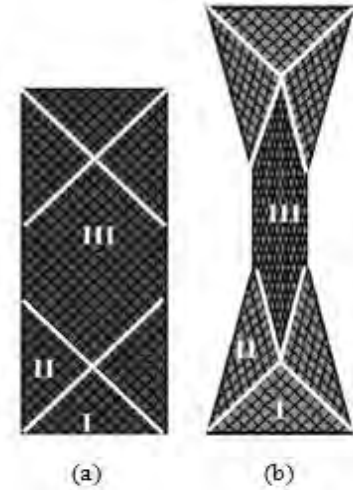
Basit kayma testinde, kayma esnasında numuneye uygulanan toplam kuvvet kayma kuvvetine denk değildir. Dolayısıyla kayma direnci, test sonuçları kullanılarak doğrudan hesaplanamaz. 1997 yılında Hu ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada, basit kayma test aparatının verileri, sonlu elemanlar yöntemi ile yeniden düzenlemiştir. Düzeltilmiş kayma direnci değerlerinin ham verilerden % 25-30 oranında farklı olduğu saptanmıştır [20].

Dokuma kumaşların kayma deformasyonunun ölçümünde kullanılan basit kayma testinde numune hazırlığı oldukça kolaydır. Öte yandan elde edilen kayma deformasyonu homojen değildir ve ölçülen kuvvet değeri, deformasyonu yaratan kayma kuvvetine denk değildir. Araştırmacılar, yöntemin bu olumsuz özelliklerini gidermeye yönelik yeni test yöntemleri ve aparatları geliştirmişlerdir.

### 3.2. Çapraz Yönlü Uzama Testi

Çapraz yönlü uzama testi, ek bir alet ya da aparata gerek olmaksızın kumaş kayma deformasyonunu standart çekme cihazları kullanılarak ölçülebilmeye yarayan bir yöntemdir. Numune hazırlanırken, atkı ve çözgü iplikleri numune kenarları ile 45° açı yapacak şekilde kesilir. Dikdörtgen şeklindeki numunenin (örn: 15x5 cm<sup>2</sup>) kısa kenarları çeneler tarafından tutulur. Kısa kenarlar sabit iken uzun kenarlar düşey doğrultuda ve serbest haldedir. Treloar, numune boyunun, numune eninin 10 katı olmasını önermektedir [7].

Çeneler tarafından iki kenarından tutulan kumaş numunesine düşey doğrultuda bir F kuvveti uygulanır. Kuvvet etkisi ile deforme olan numunede bir bölgeleme gözlemlenir. Kumaşta kayma deformasyonu ile 3 farklı bölge oluşmaktadır. I. bölgedeki tüm iplikler (atkı ve çözgü) çeneler tarafından tutulmaktadır. Bu bölgede çekme işleminin ardından herhangi bir kayma deformasyonu gerçekleşmemektedir. II. bölgede sadece bir yöndeki iplikler (atkı veya çözgü) çeneler tarafından tutulmaktadır. Bu bölgede kayma sonrasında açı değişimi tam kaymanın yarısı kadardır. III. bölgedeki ipliklerden hiçbiri çeneler tarafından tutulmamaktadır. Kumaş üzerinde sadece bu bölgede tam kayma gözlemlenir. Kayma deformasyonu hesaplanırken genellikle III. bölge dikkate alınır (Şekil 13).



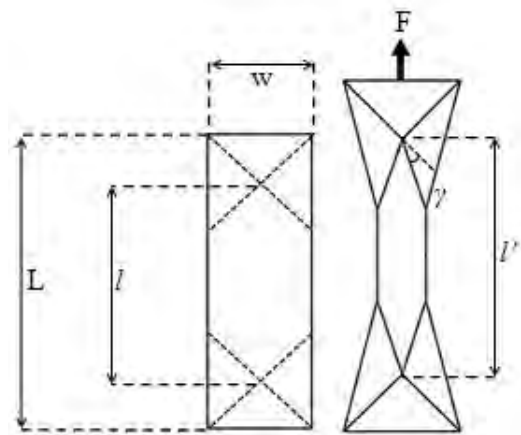
Şekil 13. Çapraz yönlü uzamaya tabi tutulan kumaş numunesi: (a) uzama öncesi, (b) uzama sonrası [21].

Çapraz yönlü uzama testi ile ölçülecek olan numunenin eni (w) ve boyu (L) bilinmektedir (Şekil 14). I. bölge iç açıları 45° olan bir ikizkenar üçgen şeklindedir. Üçgenin yüksekliği w/2'dir. Dolayısıyla üçüncü bölgenin uzunluğu (l) numunenin boyu ile eni arasındaki farka eşittir. Deformasyondan sonra I. bölgenin yüksekliği sabit kalırken üçüncü bölgenin uzunluğu (l') artar. Üçüncü bölgedeki uzama miktarı, üst çenenin düşey yöndeki hareketine (d) eşittir. Bu durumda kayma girmesi, kayma gerilmesi, kayma direnci ve kayma açısı aşağıdaki formüller ile ifade edilebilir. II. Bölgede gözlemlenen kayma açısı ( $\gamma$ ), üçüncü bölgede gözlemlenen kayma açısının ( $\theta$ ) yarısına eşittir.

$$l = L - w \quad (10)$$

$$\Delta l = l' - l \quad (11)$$

$$\theta = 2\gamma \quad (12)$$



Şekil 14. Çapraz yönlü uzamaya tabi tutulan kumaş numunesinde kayma deformasyonunun hesaplanması [4].

Bu yöntem kolay oluşu ve kayma deformasyonuna ilişkin testlerin standart mukavemet ölçüm cihazlarında gerçekleştirilebilmesi sebebiyle araştırmacılar tarafından sıkça tercih edilmektedir. Çapraz uzama yöntemi aynı zamanda, büyük kayma deformasyonlarını ölçecek şekilde uyarlanabilmektedir. Fakat bu yöntemde istenen kayma deformasyonu geometrisi sadece III. bölgede elde edilebilmektedir. Bu geometrinin elde edilmesi için harcanan kuvvet (kayma kuvveti) diğer bölgelere etki eden kayma ve çekme kuvvetleri ile iç içe geçmiş durumdadır. Bu sebeple kayma deformasyonuna ilişkin sonuçların genel test sonuçlarından ayrıştırılması zordur [21].

$$\text{Kayma gerilmesi} = \frac{\Delta l}{l} = \frac{l' - l}{L - w} \quad (13)$$

$$\text{Kayma germesi} = \frac{F}{w} \quad (14)$$

$$\text{Kayma direnci: } G = \frac{F/w}{(l' - l)/(L - w)} \quad (15)$$

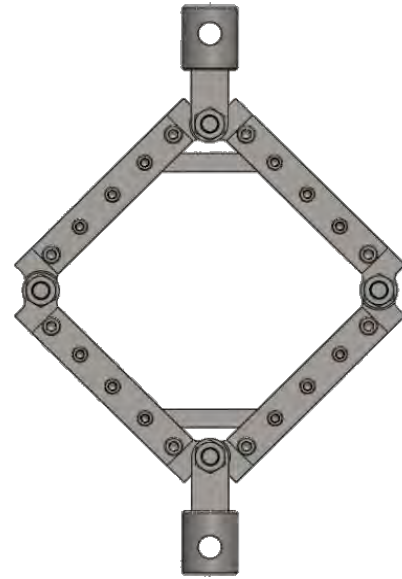
$$\text{Kayma açısı: } \gamma = \frac{\pi}{2} - 2\cos^{-1}\left(\frac{l\sqrt{2} + \Delta l}{2l}\right) \quad (16)$$

Ckhadwic ve arkadaşları, çapraz yönlü uzama testine alternatif bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde çeneler döner disk şeklindedir. Kumaş numunesi silindirik oluşturacak şekilde dikilir. Silindirik şeklindeki kumaş numunesi, iplikler çenelerle 45° açı yapacak şekilde döner çenelere sabitlenir. Numune, tek eksenli çekme testi cihazında test edilir. Silindirik şeklindeki kumaş çekme etkisiyle daralır. Araştırmacılar bu yöntemin kayma direncini ifade etmekte yetersiz kaldığını belirtmektedir [6].

### 3.3. Kayma Çerçevesi Testi

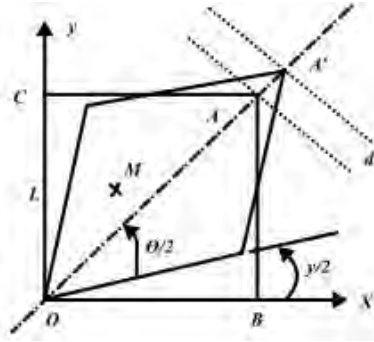
Kayma çerçevesi testi, çerçeve ile dört kenarından tutulan kumaş numunesinin diyagonal yönde çekilmesi prensibine dayanır. Kayma çerçevesi testinde, kumaş numunesi atkı ve çözümlü ipliklerine paralel olacak şekilde kare ya da haç formunda kesilir. Kumaş numunesinin kenarları kare şeklindeki çerçeveye sabitlenir. Kayma çerçevesinin kenarları mafsallar ile birbirine bağlanmıştır, dolayısıyla çerçeve kuvvet etkisi altında hareket edebilmekte ve şekil değiştirebilmektedir. Çerçeve, köşegenlerinden biri düşey doğrultuda olacak şekilde çekme cihazına yerleştirilir. Daha son-

ra çekme cihazının çenesi düşey doğrultuda hareket eder ve uygulanan kuvvet etkisi altında çerçeve ve çerçeveye sabitlenmiş durumdaki kumaş numunesi diyagonal doğrultuda çekilir. Çekme işlemi sonucu başlangıçta kenarları birbiri ile 90° açı yapan kare biçimindeki çerçevenin geometrisi değişir ve paralel kenar şeklini alır. Çerçevenin düşey doğrultudaki köşelerinde açı daralırken, yatay köşelerdeki açı genişler. Şekil 15'te Üren ve Okur tarafından tasarlanan kayma çerçevesi test aparatı görülmektedir.



Şekil 15. Üren ve Okur tarafından tasarlanan kayma çerçevesinin şematik görünümü.

Çekme işlemi sırasında harcanan kuvvet kayma kuvveti olarak kaydedilir. Kayma deformasyonu, kayma açısı ve köşegenin uzunluk değişimi cinsinden ifade edilir. Bu veriler kullanılarak kumaşın kayma direnci hesaplanır. Kumaşa uygulanan kayma gerilimi kafes yöntemi ile hesaplanır. Kafes modeli kabulünde; iplikler bağlantı noktalarında birbiri üzerinde hareket ederler, bağlantı noktalarındaki açı değişir, atkı ve çözümlü ipliklerinin uzunlukları sabit kalır, numuneye kayma kuvveti dışında başka bir kuvvet etki etmez. Kayma çerçevesinde, kafes modeli prensibine uygun olarak, ipliklerin uzunluğu sabit kalırken kumaşın alanı azalmaktadır. Bu sebeple kafes modeli ile basit kayma testine kıyasla ideale daha yakın bir kayma deformasyonu elde edilir. Şekil 16'da kayma geriliminin kafes yöntemi ile hesaplanmasında kullanılan parametreler görülmektedir.



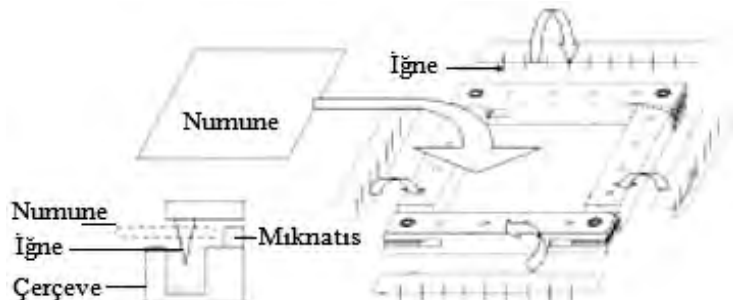
**Şekil 16.** Kayma çerçevesi testi ile kayma geriliminin hesaplanmasında kullanılan parametreler. (L: Çerçevenin uzunluğu, d: Çerçevenin düşey köşegeninin uzaması,  $\theta$ : Kayma sonrası çerçevenin tepe açısı,  $\gamma$ : Kayma açısı) [4].

Kayma çerçevesi testi, oldukça geniş bir kayma açısı aralığında, en doğru sonucu veren yöntem olarak kabul edilmektedir. Kafes içerisindeki test numunesi “tam kayma” etkisi altındadır. Bu yöntem ile oldukça üniform bir kayma deformasyonu yaratmak mümkündür ve sonuçlar objektiftir. Yöntemin tek dezavantajı, numune hazırlığının diğer yöntemlere göre daha zor ve zaman alıcı olmasıdır.

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - 2\cos^{-1}\left(\frac{L\sqrt{2} + d}{2L}\right) \quad (17)$$

Tam kayma deformasyonunun düzgün bir şekilde elde edilebilmesi için, kumaş kenarlarının çerçeve tarafından iyi bir şekilde tutulması gerekmektedir. Araştırmacılar en uygun kayma çerçevesini tasarlamaya yönelik çalışmalar gerçekleştirmektedirler. 2000 yılında Lussier ve Chen, kompozit kumaşların kayma davranışının ölçülmesine yönelik bir aparat geliştirmiş ve kapsamlı bir araştırma gerçekleştirmiştir. İlk geliştirilen kayma çerçevesi 300x300 mm<sup>2</sup> ölçülerindedir [22].

2001 yılında Chen, Lussier ve arkadaşları test aparatını geliştiren yeni bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada çerçeve boyutu 216x216 mm<sup>2</sup>'ye düşürülmüştür. İplik sürtünmesini azaltacak düzeltmeler yapılmıştır.



**Şekil 17.** Jiaming ve arkadaşları tarafından tasarlanan kayma çerçevesinin şematik görünümü [25].

Çerçeve içerisindeki kumaşın dengeli bir şekilde gerilmesi sağlanmaya çalışılmıştır [23].

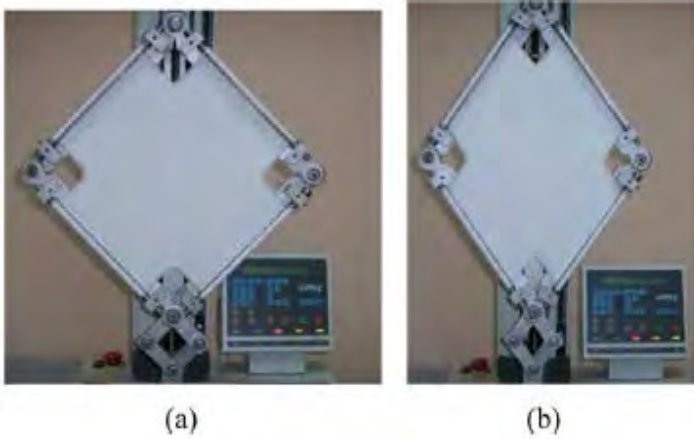
2003 yılında Dumont, kumaş kenarlarını yerine sabitlemek için kayma çerçevesi modeline termoset matris ile kumaşı tutan kompozit bir çerçeve eklemiştir [24]. Fakat bu yöntem maliyet ve süre açısından avantajlı değildir. Araştırmacılar, numuneyi tutan çerçeve üzerinde uygulanması kolay ve etkili bir kavrama yöntemi geliştirmek üzere çalışmaktadır.

#### Örnek tasarım I:

2006 yılında, Jiaming ve arkadaşları tarafından kayma deformasyonunun ölçülmesine yönelik olarak kafes modeline göre tasarlanmış bir test aleti geliştirilmiştir (Şekil 17). Çerçeve 234x234 mm<sup>2</sup>, numune 220x220 mm<sup>2</sup> ve efektif ölçüm alanı 200x200 mm<sup>2</sup>'dir. Çeneler arasına yerleştirilen kumaş numunesi iğneli plaka yardımıyla sabitlenir. İğneli plaka ile çerçevenin ana gövdesini bir arada tutmak amacıyla mıknatıs kullanılmıştır. Diagonal biçimde çekme cihazına bağlanan çerçeve, üniform bir hareketle düşey yönde kaydırılır. Kayma kuvveti, yük sensörü tarafından ölçülür. Kayma kuvveti ölçüldüğü anda gözlemlenen, düşey doğrultudaki yer değiştirme lazer yardımıyla ölçülür. Bu tasarım ile ölçülebilen en büyük kayma açısı 40°'dir [25].

#### Örnek tasarım II:

2011 yılında, Abed ve arkadaşları tarafından kayma deformasyonunun ölçülmesine yönelik olarak bir kayma çerçevesi tasarlanmıştır (Şekil 18). Kumaştan 200x200 mm<sup>2</sup> ebatlarında test numunesi kesilir. Numune, köşelerinden kesilerek haç şekline getirilir. Böylece numune kenarları çelik çubuklara sarılabilir hale getirilir. Kumaş numunesinin kenarları çelik çubuk üzerine sarılır. Kaymanın engellenmesi amacıyla, çelik çubuk üzerindeki kumaş, vidalar ile sabitlenir [4].



**Şekil 18.** Abed ve arkadaşları tarafından tasarlanan kayma çerçevesi (a) başlangıç pozisyonu (b) kuvvet uygulandıktan sonra [4].

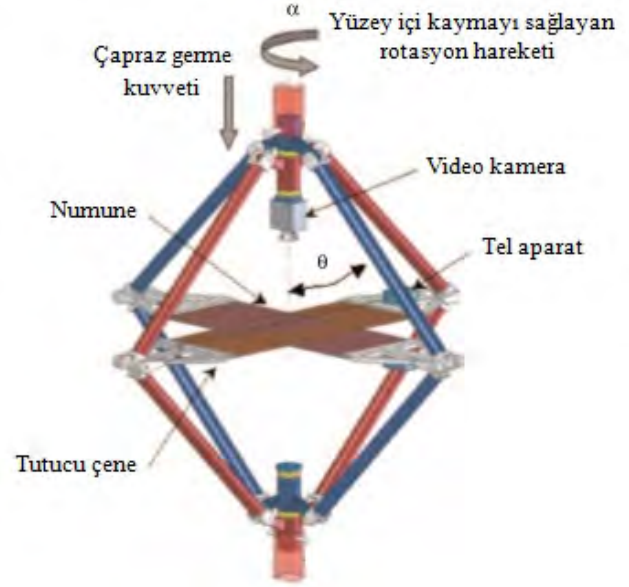
Kayma deformasyonu ölçülecek kumaş numunesi, çerçeve içerisinde iken üzerinde homojen bir gerilim olması istenmektedir. Tasarlanan çerçevenin kumaş üzerinde ek bir gerilim yaratıp yaratmadığı testlerle incelenmiştir. Sonuçlar kumaş üzerindeki germe kuvvetinin dört kenarda eşit olduğunu ve sonuçlara etki etmeyeceğini göstermiştir. Kumaş üzerinde elde edilen kayma deformasyonunun kumaşın her noktasında eşit olması istenmektedir. Bu sebeple test sonrasında homojen bir kayma elde edilip edilmediği de incelenmiştir. Bu tasarımda, numune üzerindeki ön germe kuvvetinin ve kuvvet etkisi altında oluşan kayma deformasyonunun üniform olduğu deneysel verilerle doğrulanmıştır [4].

#### Örnek tasarım III:

Cavallaro ve arkadaşları tarafından, 2007 yılında gerçekleştirilen, aynı anda uygulanan çapraz yönlü germe ve kayma kuvvetlerinin dokuma kumaşların kıvrımlılığına etkisinin incelendiği çalışmada, çapraz yönlü gerilme ve kaymayı bir arada ölçmeye yönelik bir test aparatı tasarlanmıştır. Şekil 19'da görülen düzenek, dokuma ve örme kumaşların elastik kayma modülünün hesaplanmasında geleneksel çekme/burulma test cihazları ile kullanılabilir şekilde tasarlanmıştır [5].

Cavallaro ve arkadaşları tarafından tasarlanan düzenek, paralel kenar oluşturacak şekilde birleştirilmiş dört çubuktan oluşan, hareketli iki çerçeve sisteminin (kırmızı ve mavi) dikey köşegenleri çakışacak şekilde köşelerinden mafsallarla birbirine bağlanması ile oluşturulmuştur. Dört adet yük taşıma levhası, hareketli

çerçeve sisteminin yatay köşelerine mafsallarla bağlanmıştır. Yük taşıma levhalarının diğer ucunda, kumaş numunesini sabitlemeye yarayan tutucu çeneler bulunmaktadır. Düşey ekseninde kumaş görünümünü izleyen bir kamera bulunmaktadır [5].



**Şekil 19.** Çapraz yönlü germe ve yüzey içi kayma deformasyonu test aleti [5].

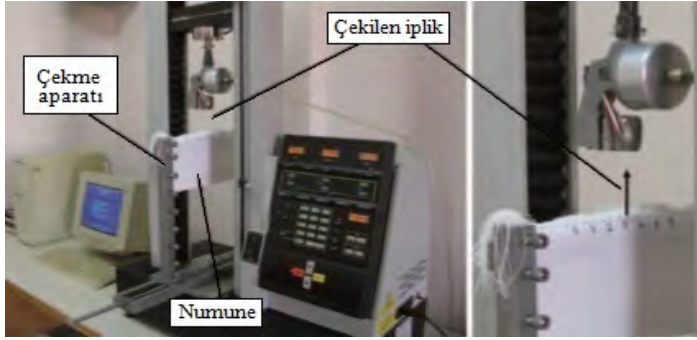
Düzenek düşey ekseninin iki ucundan çekme cihazına bağlanmaktadır. Çekme cihazının aşağı ve yukarı hareket etmesiyle, çapraz yönlü numuneye, çekme ya da sıkıştırma kuvveti uygulanabilir. Bağlantı noktalarındaki rotasyon hareketi ile paralel kenar formundaki iki çerçevenin birbirine olan açısı değiştirilerek, numune üzerinde bir kayma deformasyonu yaratılabilir. İsteğe bağlı olarak, çekme ve sıkıştırma hareketi, yüzey içi kayma kuvvetleri ile birlikte uygulanabilir. Ön germe miktarı çeneler üzerine yerleştirilen tel aparat ile ölçülür [5].

### 3.4. İplik Çekme Yöntemi

Kayma deformasyonuna ilişkin ölçümlerde kullanılan bir diğer yöntem de iplik çekme yöntemidir. Bilişik tarafından geliştirilen iplik çekme yönteminde, kumaş iki kenarından sabit çeneler ile tutulur. Kumaşın üst kısmında saçak halinde bulunan ipliklerinden belli sayıda bir grup oluşturularak üstteki hareketli çeneye sıkıştırılır. Hareketli çene tarafından tutulan iplikler yukarı yönde çekilir ve böylece çekilen ipliklere dik doğrultuda bulunan ipliklerde açı değişimi gözlemlenir. Bu yöntem herhangi bir çekme cihazında uygula-



nabilir, fakat kumaşı iki kenarından sabitlemek için özel bir aparata ihtiyaç duyulmaktadır [26]. Şekil 20'de iplik çekme yönteminde kullanılan aparat görülmektedir.



Şekil 20. İplik çekme yöntemi ile kayma deformasyonunun ölçülmesi [26].

Dokuma kumaşların kayma deformasyonunu ölçmek üzere kullanılan bu yöntemin temel prensibi, kumaş numunesinden 15 cm saçak oluşturacak şekilde ipliklerin sökülmesi ve saçığın ortasında kalan ipliklerden belli sayıda iplik içeren bir grubun cihaz tarafından tutularak kumaştan yukarıya doğru çekilmesidir. Çekilecek ipliklerin sayısı 1 ile 5 arasında değişmektedir ve kumaş tipine göre farklılık göstermektedir [27]. Şekil 21'de iplik çekme yöntemine ilişkin parametreler görülmektedir.

İplik çekme yönteminde kumaş eni ( $w$ ) ve çekme ile gözlemlenen yer değiştirme ( $d$ ) değerleri kullanılarak kayma açısı ( $\theta$ ) geometrik olarak hesaplanır. Kayma direnci ( $G$ ), çekme kuvveti ( $F$ ), kumaş eni ve kayma

gerilmesi ( $\tan \theta$ ) arasındaki ilişkiden yola çıkılarak hesaplanır. Gramajın ( $W_f$ ) birimi  $g/m^2$ , özgül kayma direncinin ( $G_{sf}$ ) birimi  $Nm/g$  olarak ifade edilir [26].

$$w_1 = w_2 = w/2 \quad (18)$$

$$\theta_1 = \theta_2 = \theta \quad (19)$$

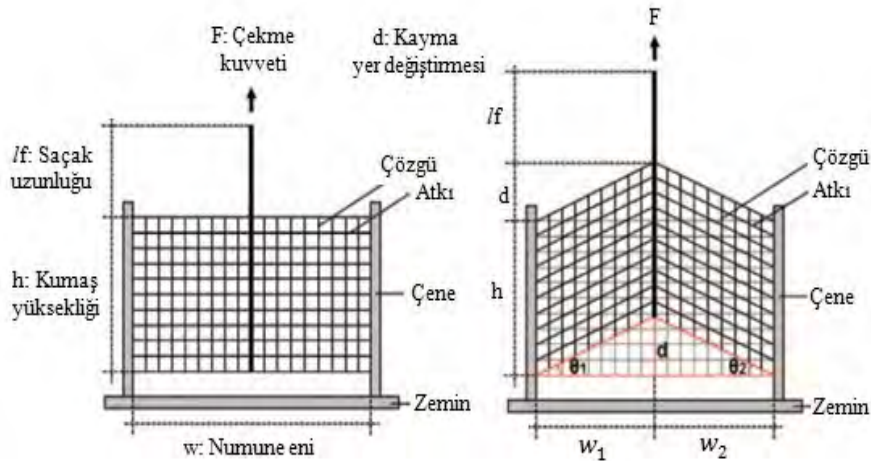
$$\tan \theta = \frac{d}{w/2} = \frac{2d}{w} \quad (20)$$

$$\frac{F}{w} = G \times \tan \theta \quad (21)$$

$$G = \frac{F}{w \times \tan \theta} \quad (22)$$

$$G_{sf} = \frac{G}{W_f} \quad (23)$$

Bilişik tarafından yapılan çalışmada, ölçümler esnasında kumaş kıvrımlılığındaki değişim ihmal edilmiştir. Bu yöntem ile elde edilen sonuçların basit kayma testi ve çapraz yönlü kayma testi sonuçları ile benzerlik gösterdiği saptanmıştır. Kayma deformasyonu eğrileri başlangıçta diğer iki yöntemden elde edilen eğriler ile benzerlik gösterirken kuvvet arttıkça sonuçlar farklılık göstermiştir. Bu durum artan kuvvet etkisiyle kesişim noktalarında ipliklerin birbirini üzerinden kayması ile açıklanmıştır. Çekilen iplik sayısı arttıkça ölçülen kayma direnci yükselmiştir. Farklı numune boyları ile yapılan denemelerde numune boyu arttıkça kayma direnci değerinin daha yüksek bulunduğu saptanmıştır [28].



Şekil 21. İplik çekme yöntemi [26].



#### 4. SONUÇ

Kayma deformasyonuna ilişkin testler incelendiğinde, ilk geliştirilen test yöntemlerinin 1950'li yıllarda, basit kayma prensibine göre tasarlandığı görülmektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından tasarlanan basit kayma aparatları içerisinde en yaygın olarak kullanılan ve ticari anlamda kabul gören kayma testi cihazı, Kawabata tarafından geliştirilen KES cihazıdır. Basit kayma test prensibine göre tasarlanan bu yöntemde, numune hazırlığı oldukça kolaydır. Test esnasında numuneye bir ön germe kuvveti uygulanmaktadır. Ön germe kuvveti etkisi altındaki numunede gözlemlenen kayma deformasyonunun üniform olmayışı ve numuneye uygulanan toplam kuvvetin kayma kuvvetine denk olmaması sebebiyle kayma direnci, test sonuçları kullanılarak doğrudan hesaplanamaz. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda, test sonuçlarının kayma kuvvetini verecek şekilde dönüştürülmesine yönelik bilgisayar destekli çözümler sunulmuştur.

Basit kayma test cihazlarına alternatif olarak kayma deformasyonunun standart çekme cihazlarında ölçülmesi amacıyla kullanılan çapraz yönlü uzama testi, kolay oluşu ve standart mukavemet ölçüm cihazlarında gerçekleştirilebilmesi sebebiyle araştırmacılar tarafından sıkça tercih edilmektedir. Bu yöntemde kayma deformasyonu ile numunede farklı bölgeler oluşmakta ve istenen kayma deformasyonu geometrisi sadece numunenin orta bölgesinde elde edilebilmektedir. Orta bölgede elde edilen kayma deformasyonu için uygulanan kayma kuvveti, diğer bölgelere etki eden kayma ve çekme kuvvetleri ile iç içe geçmiş durumda olduğundan, çekme cihazında okunan kuvvet kayma kuvvetine denk değildir. Dolayısıyla çapraz yönlü uzama testinde, kayma deformasyonuna ilişkin sonuçların genel test sonuçlarından ayrıştırılması zordur. Çapraz yönlü uzama testinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi amacıyla araştırmacılar, silindir şeklinde dikiilen numunenin döner diskler tarafından tutulduğu alternatif bir çapraz yönlü çekme testi geliştirilmişse de, yapılan çalışmalar bu yöntemin kayma direncini ifade etmekte yetersiz kaldığını göstermiştir.

Basit kayma ve çapraz yönlü kayma testlerindeki sorunların giderilmesine yönelik yapılan araştırmalar

sonucunda, 2000'li yıllarda ilk kayma çerçevesi tasarlanmıştır. Kayma çerçevesi yönteminde, çerçevelerin tutma kuvveti dışında, numuneye ek bir ön germe kuvveti uygulanmamaktadır. Çeşitli kayma çerçevesi tasarımları ile yapılan çalışmalarda, kayma çerçevesi ile sabitlenmiş kumaş numunesine etki eden gerilimin efektif ölçüm alanı içerisinde eşit dağıldığı sayısal verilerle doğrulanmıştır. Kayma çerçevesi yöntemi ile oldukça üniform bir kayma deformasyonu yaratmak mümkündür. Bu yöntem aynı zamanda standart ölçümlere dayanır. Sonuçlar objektiftir. Araştırmacılar tarafından farklı kumaş tutma mekanizmalarına sahip çeşitli kayma çerçevesi aparatları tasarlanmıştır. Kayma çerçevesi standart çekme cihazları ile kullanılabilen bir alettir. Bu yöntemin tek dezavantajı, numune hazırlığının diğer yöntemlere göre daha zor ve zaman alıcı olmasıdır.

Kayma deformasyonunu ölçmeye yönelik tasarlanan en yeni yöntem, iplik çekme yöntemidir. Bu yöntem için özel olarak tasarlanan kumaş tutucu aparata sabitlenen kumaş numunesinde saçak oluşturacak şekilde sökülen ipliklerden bir kısmı, standart çekme cihazı tarafından çekilerek kumaşta kayma deformasyonu meydana getirilir. İplik çekme yönteminin çeşitli dokuma kumaşlarda uygulanabilirliği araştırmalarla doğrulanmıştır. Kayma deformasyonu ölçümüne yönelik geliştirilen bu yöntemle ilişkin çalışmalar günümüzde devam etmektedir.

#### KAYNAKLAR

1. Richards, J. A., Sears, F. W., Wehr, M. R., Zemansky, M. W., (2001), *Modern Üniversite Fiziği Cilt I: Mekanik, Isı ve Termodinamik*, Çağlayan Basımevi, İstanbul/TÜRKİYE.
2. Başer, G., (2008), *Tekstil Mekaniğinin Temelleri Cilt 1: Lif ve İplik Mekaniği*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir/TÜRKİYE.
3. Başer, G., (2013), *Tekstil Mekaniğinin Temelleri Cilt II: Kumaş Geometrisi ve Mekaniği*, Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, İzmir/TÜRKİYE.
4. El Abed, B., Msahli, S., Bel Hadj Salah, H., Sakli, F., (2011), *Study of Woven Fabric Shear Behaviour*, Journal of The Textile Institute, 102, 322-331.
5. Cavallaro, P. V., Sadegh, A. M., Quigley, C. J., (2007), *Decrimping Behavior of Uncoated Plain-Woven Fabrics Subjected to Combined Biaxial Tension and Shear Stresses*, Textile Research Journal, 77, 403-416.

6. Chadwick, G. E., Shorter, S. A., Weissenberg, K. A., (1949), *A Trellis Model for the Application and Study of Simple Pulls in Textile Materials*, Journal of The Textile Institute, 40, 111–160.
7. Treloar, L. R. G., (1965), *The Effect of the Test-Piece Dimensions on the Behavior of Fabrics in Shear*, Journal of the Textile Institute, 56, 533–550.
8. McBride, T. M., Chen, J., (1997), *Unit Cell Geometry in Plainweave Fabrics During Shear Deformations*, Computer Science and Technology, 57, 351.
9. Lo, W. M., Hu, J. L., (2002), *Shear Properties of Woven Fabrics in Various Directions*, Textile Research Journal, 72, 383-390.
10. Kamali Dolatabadi, M., Kovař, R., Linka, A., (2006), *Angular Deformation of Warp-Weft Yarns in Cut Bias Plain Weave Fabric Under Uniaxial Load*, Paper presented at 13th international conference STRUTEX, Liberec.
11. Kamali Dolatabadi, M., Kovař, R., (2009), *Geometry of Plain Weave Fabric Under Shear Deformation. Part III: 3D Model of Plain Weave Fabric Under Shear Deformation*, Journal of The Textile Institute, 100, 387–399.
12. Morner, B., Eeg-Olofsson, T., (1957), *Measurement of the Shearing Properties of Fabrics*, Textile Research Journal, 27, 611-615.
13. Kawabata, S., Niwa, M., Kawai, H., (1973), *The Finite-Deformation Theory of Plain-Weave Fabrics, Part III The Shear Deformation Theory*, Journal of the Textile Institute, 64, 62–85.
14. Cusick, G. E., (1961), *The Resistance of Fabrics to Shearing Forces: A Study of the Method Due to Morner and Eeg-Olofsson*, Journal of the Textile Institute, 56, 533–550.
15. Behre, B., (1961), *Mechanical Properties of Textile Fabrics, Part I: Shearing*, Textile Research Journal, 31, 87-94.
16. Spivak, S. M., Traloar, L. R. G., (1968), *The Behavior of Fabrics in Shear, Part III: The Relation Between Bias Extension and Simple Shear*, Textile Research Journal, 38, 963–971.
17. Somodi, Z., Rolich, T., Hursa, A., Pavlinic, D. Z., (2010), *Micromechanical Tensile Model of Woven Fabric and Parameter Optimization for Fit With KES Data*, Textile Research Journal, 80, 1255-1264.
18. Pramanik Vilas, P., Patil, M., (2009), *Low Stress Mechanical Behaviour of Fabrics Obtained From Different Types of Cotton/Nylon Sheath/Core Yarns*, Indian Journal of Fibre and Textile Research, 34, 155-161.
19. Kawabata, S., KESFB1-Auto-A Automatic Tensile & Shear Tester, [http://english.keskato.co.jp/products/files/10001\\_file3.pdf](http://english.keskato.co.jp/products/files/10001_file3.pdf), 05/03/2014
20. Hu, J. L., Zhang, Y. T., (1997), *The KES Shear Test for Fabrics*, Textile Research Journal, 67, 654–664.
21. Kamali Dolatabadi, M., Kovař, R., Linka, A., (2009), *Geometry of Plain Weave Fabric Under Shear Deformation Part I: Measurement of Exterior Positions of Yarns*, The Journal of The Textile Institute, 100, 368–380.
22. Lussier, D. S., Chen, J., (2000), *Material Characterization of Woven Fabrics for Thermoforming of Composites*, 15th Technical Conference of American Society for Composites, College Station, TX.
23. Chen, J., Lussier, D. S., Sherwood, J. A., Cao, J., Peng, X. Q., (2001), *The Relationship Between Materials Characterization and Material Models for Stamping of Woven Fabric/Thermoplastic Composites*, 4th International ESAFORM Conference on Material Forming, Liège, Belgium.
24. Dumont, F., (2003), *Contribution à l'Expérimentation et à la Modélisation du Comportement Mécanique de Renforts de Composites Tissés*, Ph.D. Thesis, University of Paris, France.
25. Jiaming, Z., Takuya, K., Yoshihiko, Y., Masayuki, T., Shigeru, I., Yoshio, S., (2006), *Evaluating Shear Rigidity of Woven Fabrics*, Textile Research Journal, 76, 145-151.
26. Bilişik, K., (2012), *In Plane Shear Properties of Polyester Fabric by Yarn Pull-Out Method*, Textile Research Journal, 82, 1263-1281.
27. Bilişik, K., (2012), *Experimental Determination of Fabric Shear by Yarn Pull-Out Method*, Textile Research Journal, 82, 1050-1064.
28. Bilişik, K., (2012), *Shear Characterization of Para-Aramid (Twaron®) Fabric by Yarn Pull-Out Method*, Textile Research Journal, 82, 1442-1456.