

DOKUMA KUMAŞLARIN SÜRTÜNME DAVRANIŞLARI HAKKINDA YAPILAN ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yahya CAN

Pamukkale Üniversitesi, Denizli Meslek Yüksekokulu, Tekstil Programı, Denizli

Erhan KIRTAY

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu çalışmada önce, sürtünme kuvveti tanımlanmış ve tekstil materyallerinde sürtünme kuvvetinin azaltılabilmesi için uygulanan yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra dokuma kumaş sürtünmeleri hakkında bazı araştırmacıların çalışmaları sunulmuştur.

Kumaşlar için geçerli olan sürtünme kuvvetleri, klasik Coulomb sürtünme kuvveti formülleri ile açıklanamaz. Çünkü tekstil materyalleri, deforme olabilen, esnek materyallerdir. Genel olarak tekstil materyallerinde sürtünme kuvveti $F = a \cdot N^n$ formülü ile açıklanabilir ve oldukça komplekstir. Bu formülde a ve n sabitleri yüzeye bağlı sürtünme katsayılarıdır. Sonuç olarak yapılan araştırmalarda, tekstil materyallerindeki sürtünme kuvveti ile sürtünme katsayıları arasındaki ilişkinin lineer olmadığı tespit edilmiştir. Ancak, katı ve esnek olmayan materyallerde, bu ilişki lineer bir ilişkidir.

Anahtar Kelimeler: Dokuma kumaş, Atkı-çözüğü sıklığı, Sürtünme kuvveti, Sürtünme katsayısı, Kumaşların sürtünme özellikleri,

THE INVESTIGATION OF THE STUDIES ABOUT FRICTION BEHAVIOR OF WOVEN FABRIC

ABSTRACT

In this study firstly, the frictional force was defined and the information about the methods that was applied to reduce frictional force in the surface of textile materials was given. After that, the studies of some researchers containing woven fabric frictions were presented.

The frictional force which is valid for fabric cannot be explained by the way of classical Coulomb frictional force, because, textile materials are deformable and flexible. In general the frictional force of textile materials is determined in the equation of $F = a \cdot N^n$ and it is very complex. In this equation, a and n are the friction coefficient depending on the properties of the surface. As a result, in the studies made, it was determined that the relation between frictional force and friction coefficient is nonlinear although for rigid and nonflexible materials the relation is linear.

Key Words: Woven fabric, Weft-warp setting, Frictional force, Frictional coefficient, Frictional properties of fabric,

1. GİRİŞ

Pürüzlü iki yüzey birbirine temas ettirildiğinde ve hareket başlatıldığında, iki yüzey arasında hareketi engellemeye çalışan kuvvet sürtünme kuvvetidir. Sürtünme kuvvetleri, tekstilde çok önemlidir; çünkü; kesikli liflerden iplik üretiminin çeşitli aşamalarında, liflerin birbirine paralel hale getirilmesi ve liflerin bir düzen içinde hareket ettirilmeleri, lifler arasındaki sürtünme kuvvetleri sebebiyledir. Bununla birlikte kesikli liflerden yapılmış ipliklerde mukavemet, liflerin, ipliğe verilen büküm vasıtasıyla, birbirleri üzerine sarımları ve bu sırada lifler arasında meydana gelen sürtünme kuvvetlerinin bir neticesidir. Yani kesikli liflerden iplik eğirme prosesi, lif sürtünmesi kavramına dayanır (Kalli, 1986).

Anlaşılabileceği gibi lifler arasındaki sürtünme kuvvetlerinin yüksek olması istenirken, pek çok durumda iplikler arasındaki sürtünme kuvvetlerinin yüksek olması istenmez. İplikler ile temas ettikleri yüzeyler arasındaki sürtünme kuvvetlerinin yüksek olması, ipliklerin aşınmasına ve dolayısıyla iplik kopuşlarına sebep olacaktır. Dokuma işlemi sırasında çözgü iplikleri arasındaki sürtünmeyi dolayısıyla iplik kopuşlarını azaltmak için, çözgü ipliklerine haşılama işlemi yapılır. İpliğin sürtünme katsayısını düşürmek için, iplikler parafinlenir. Kumaşlar üretim prosesleri esnasında sürtünmeye maruz kalırlar ve nihayet giysiler de gerek

tekstil ürünlerine gerekse diğer yüzeylerle temas halindedirler.

Sürtünme kuvvetlerinin tekstil mamulleri üzerindeki etkisi, tekstil mamulünün yüzey pürüzlülüklerinin zamanla düzleşmesi ve bu işlemin devamıyla mamulün kalınlığının azalması yani aşınmadır. Aşınma, ipliklerde kopuş olarak kendisini gösterecektir. Ayrıca sürtünme kuvvetlerinin etkisiyle, kumaş içindeki ipliklerin pozisyonları büyük miktarda değişecektir. Bu da kumaşın bükülmesine ve dolayısıyla da kumaş görüntüsünün bozulmasına sebep olacaktır (Adanur, 1995). Görüldüğü gibi sürtünme tekstilde, bazen oldukça önemli ve gerekli bir unsur olarak karşımıza çıkarken bazen de önlenmesi veya mümkün olduğu kadar azaltılması gereken bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

2. DOKUMA KUMAŞLARIN SÜRTÜNME DAVRANIŞLARI HAKKINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Amontons 1699'da, birbirleriyle sürtünen cisimler arasındaki sürtünme kuvvetlerinin varlığını ilk olarak, incelemiş ve bazı bağıntılar bulmuştur. Amontons'a göre bir cismi yatay olarak hareket ettirebilecek P kuvveti, $P = \mu N$ şeklindedir. μ sürtünme katsayısıdır ve $\mu = P/N$ olup sabit bir değerdedir.

Coulomb 1788'de, Amontons tarafından geliştirilen formülün yeterli olmadığını ve cismin hareketli olup olmadığını göre iki farklı sürtünme kuvvetinin olduğunu belirtmiştir. Cisim hareketsiz iken sürtünme kuvveti, statik sürtünme kuvveti (F_s) ve cisim hareketli iken sürtünme kuvveti de (F_k) kinetik sürtünme kuvvetidir (Beer and Johnston, 1983).

Coulomb statik ve kinetik sürtünme kuvvetleri aşağıdaki formüllerle ifade etmiştir. μ_s statik sürtünme katsayısı, μ_k kinetik sürtünme katsayısıdır. Bu durumda sürtünme

$$F_s = \mu_s N \quad (1)$$

$$F_k = \mu_k N \quad (2)$$

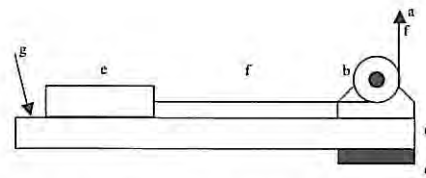
formüllerıyla gösterilebilecektir.

Statik ve kinetik sürtünme katsayıları temas eden yüzeylerin alanlarına bağlı değil iken, temas eden yüzeylerin, yüzey özellikleriyle yakından ilgilidir. Tekstilde kullanılan liflerin kinetik sürtünme katsayıları 0,2 ile 0,6 arasında değişmektedir (Kalli, 1986).

Bir cismin bir yüzey üzerindeki hareketi ve dolayısıyla yüzey ile cisim arasında meydana gelen sürtünme kuvvetleri yukarıdaki formüllerle açıklanabilirken, söz konusu cisim ve/veya yüzeyden en az bir tanesi kumaş gibi deforme olabilen bir materyal ise, bu kez klasik Coulomb sürtünme kuvvet formülleri yeterli olmamaktadır (Kalli, 1986).

Ajayi (1992a), dokuma kumaşların kinetik ve statik sürtünme kuvvetleri üzerinde çalışmalar yapmıştır. Sürtünme kuvvetleri üzerinde, normal kuvvetin, kızak hızının ve kızak yüzey materyalinin ve kumaş özelliklerinin etkilerini

araştırmıştır. Çalışmalarında; Instron mukavemet ölçerini alüminyum kızak ile birlikte kullanmıştır. Kumaşların sürtünme özellikleri, dikdörtgen numune ile (30 cm x 10 cm) ve tanımlayıcı karakteristik kumaşla kaplanmış kızak üzerindeki yatay platform üzerinde ölçülmüştür. Platform 52cm x 15cm ağaç kızak ise 8 cm x 15 cm'dir ve 25 gr ağırlığındadır (Şekil 1). Kızak 63 N/m²lik basınçla ve 5 cm/dakika sabit hızla çekilmiştir. Deneyde kullanılan kumaşlara ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.



- a. Instron yüklemesi
- b. Sürtünmesiz makara
- c. Yatay platform
- d. Alt çene bağlantısı
- e. Üzerine kumaş numunesi takılmış kızak
- f. Misina
- g. Kumaş numunesi

Şekil 1. Kumaşların sürtünme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan aparat (Ajayi 1992a)

Tablo 1. Deneyde kullanılan kumaşlara ait bilgiler (Ajayi 1992a)

Kumaş Kodu	Lif Türü	Doku Türü	Sıklıklar (tel/cm)		İplik Numarası (tex)		Gramaaj (g/m ²)	Kalınlık (mm)
			Çözügü	Atkı	Çözügü	Atkı		
1	Pamuk	Bezayağı	28	39	10	15	83	0.22
2	Pamuk	Dimi	40	20	38	58	275	0.55
3	Yün	Bezayağı	21	19	30	33	121	0.34
4	Yün	Bezayağı	10	11	85	100	179	1.09

Kumaşlarda Coulomb tarafından kullanılan klasik sürtünme formülleri geçerli olmayıp, normal kuvvet ile sürtünme kuvveti arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

$$F = KN^n \quad (3)$$

Burada F sürtünme mukavemeti (g/cm²), N normal kuvvet (g/cm²) K sürtünme sabiti (g/cm²) ve n sürtünme indeksidir. Farklı kumaşlar için K ve n değerleri ve farklı normal kuvvet değerlerinde (A=63 N/m²; B=250N/m²; C=630 N/m²), 5 cm/dakika kızak hızı ile ve 3 dakika deney süresinde, kumaş - kumaş sürtünme kuvvetlerindeki değişimler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Farklı kumaşlar için sürtünme sabiti ve sürtünme indeksi değerleri ile değişen normal kuvvetlerde kumaşların sürtünme kuvvetleri ve sürtünme katsayılarındaki değişimler (Ajayi 1992a)

Kumaş Kodu		Statik		Kinetik		μ_s			F_k		
		K	n	K	n	A	B	C	A	B	C
1	Çözügü	0.31	0.28	0.28	0.52	2.28	1.24	0.82	57	124	205
	Atkı	0.26	0.25	0.25	0.55	2.08	1.30	0.80	52	130	200
2	Çözügü	0.16	0.06	0.06	0.58	1.28	0.80	0.56	32	80	140
	Atkı	0.13	0.01	0.01	0.70	1.36	0.80	0.56	34	80	140
3	Çözügü	0.21	0.17	0.17	0.63	1.72	1.40	0.77	43	140	186
	Atkı	0.19	0.15	0.15	0.86	1.68	1.10	0.98	42	110	244
4	Çözügü	0.35	0.30	0.30	0.75	2.28	1.68	1.25	57	168	312
	Atkı	0.34	0.28	0.28	0.79	2.20	1.60	1.20	55	160	300

Tüm kumaşlar için, statik sürtünme katsayısı ve statik sürtünme indeksi değerleri, kinetik sürtünme katsayısı ve kinetik sürtünme indeksi değerlerinden büyüktür. Bu sonuçlar Coulomb'un bulduğu sonuçlar ile uyum göstermektedir. Tüm kumaş numuneleri için, normal kuvvet artırıldığı zaman, sürtünme katsayısı azalmakta, ancak sürtünme kuvveti artmaktadır. Farklı kızak yüzeylerinde, $N= 470 \text{ N} / \text{m}^2$ normal kuvvetle, 5 cm/dakika kızak hızı ile ve 3 dakika deney süresinde ilgili kumaşlara ait statik ve kinetik sürtünme katsayıları da Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Farklı kızak yüzeylerinde sürtünme katsayılarının değişimi (Ajayi 1992a)

Kumaş Kodu		Statik Sürtünme Katsayısı		Kinetik Sürtünme Katsayısı	
		Kumaş	Kauçuk	Kumaş	Kauçuk
1	Çözgü	0.74	0.88	0.57	0.83
	Atkı	0.82	0.81	0.66	0.78
2	Çözgü	0.53	0.81	0.37	0.78
	Atkı	0.59	0.76	0.44	0.72
3	Çözgü	0.81	0.83	0.68	0.80
	Atkı	0.85	0.83	0.70	0.79
4	Çözgü	1.09	0.94	0.92	0.91
	Atkı	1.14	0.94	0.96	0.93

Araştırmacıya göre, kumaş sürtünmesi pek çok faktörden etkilenmektedir. Uygulanan normal kuvvet, kızak hızları ve kızak yüzeyleri, kumaşın atkı ve çözgü sıklıkları ve iplik numaraları bunlardan bazılarıdır. Örneğin sürtünme mukavemeti ile atkı çözgü sıklıkları arasında yüksek bir korelasyon bulunmuştur. Düşük sürtünme katsayısına sahip kumaşlar genellikle daha pürüzsüzdür.

Ajayi (1992b), farklı atkı sıklıkları ve gramajlarda bezayağı kumaşların sürtünme davranışlarını incelemiştir. Üretilen 5 farklı kumaşa ait bilgiler ve kumaşlara ait sürtünme kuvvetleri, Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Deneyde kullanılan kumaşlara ait bilgiler ve kumaşlara ait sürtünme kuvveti değerleri (Ajayi 1992b)

Kumaş Kodu	Sıklıklar (tel/cm)		İplik Numarası (tex)		İplik Kıvrımı (%)		Gramaj (g/m ²)	Kalınlık (mm)	Sürtünme Kuvveti (gf)			
	Çözgü	Atkı	Çözgü	Atkı	Çözgü	Atkı			F _s		F _k	
									Çözgü	Atkı	Çözgü	Atkı
1	36	10	21	55	5	1.0	126	0.47	54	60	49	51
2	36	13	22	55	8	1.5	144	0.47	60	66	53	56
3	37	15	23	55	10	2.1	154	0.47	67	70	58	62
4	36	18	23	56	12	2.5	171	0.45	66	75	56	67
5	36	21	23	56	14	3.0	204	0.47	69	78	60	70

Tablo 4 incelendiğinde, atkı sıklığı arttıkça sürtünme kuvvetinin de arttığı görülmektedir. Atkı-atkı sürtünmesi çözgü-çözgü sürtünmesinden daha büyüktür. Çözgü

Tablo 5. Kumaşlara ait bilgiler ve sürtünme kuvvetleri (A: Fıtıl uzunluğu boyunca hareket, B: Fıtıl enine yöndeki hareket) (Ajayi 1992b)

Kumaş Yapısı	Sıklıklar (tel/cm)		5 cm'deki Kord Sayısı	Fıtıl Genişliği (mm)	Fıtıl Yüksekliği (mm)	Gramaj (g/m ²)	Kalınlık (mm)	Sürtünme Kuvvetleri (gf)							
	Çözgü	Atkı						Kumaş Yüzü - Kumaş Yüzü				Kumaş Ters - Kumaş Ters			
								F _s		F _k		F _s		F _k	
								A	B	C	D	A	B	C	D
Atkı kadifesi	35	39	-	-	-	319	1.23	132	134	126	132	66	60	52	50
Atkı kadifesi	18	17	32	1.0	0.67	228	0.85	74	100	66	84	66	65	58	56
Atkı kadifesi	25	21	20	2.0	0.95	257	1.14	97	122	78	108	78	72	60	58
Atkı kadifesi	35	39	16	2.5	1.06	316	1.30	80	142	72	116	78	76	63	60
Fitilli kadife	18	23	8	4.5	1.18	382	1.42	102	185	60	122	78	80	52	60

ipliklerindeki kıvrım arttıkça, atkı ipliği boyunca sürtünme mukavemetinin artmasına yol açar. Bununla birlikte yine çözgü iplikleri boyunca iplik kıvrımının artması, çözgü iplikleri yönündeki sürtünme kuvvetinin azalmasına yol açmaktadır.

Araştırmacı kumaşlar arasındaki sürtünme kuvvetinde teorik olarak, yüzeyler arasındaki temas alanının ve kumaş yüzeyindeki iplik çıkıntılarının yüksekliğinin etkili olduğunu ifade etmiştir. İki kumaş arasındaki temas alanı, kumaş dengesi olarak ifade edilmiş ve aşağıdaki gibi formülle belirtilmiştir.

$$B = \frac{P_P(1 + C_T)\sqrt{T_T}}{P_T(1 + C_P)\sqrt{T_P}}$$

B: Kumaş dengesi

P: İplikler arasındaki mesafe (1/sıklık)

C: İplik kıvrımı

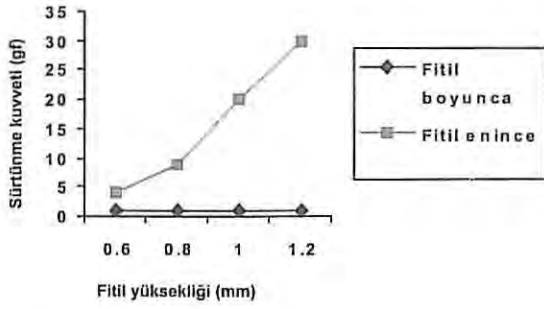
T: İplik numarası (tex)

P indisi: Çözgü ipliği

T indisi: Atkı ipliği

Araştırmacı teorik olarak, kumaş dengesi arttıkça yani iki yüzey arasındaki temas alanı arttıkça, kumaşın harekete karşı sürtünme mukavemetinin de artacağını ifade etmiştir. Kumaş dengesi üzerinde, atkı ve çözgü sıklıklarının, iplik kıvrımlarının (C) ve iplik numaralarının (T) etkileri olduğu, formülden açıkça görülmektedir. Atkı ve çözgü sıklıkları değiştikçe, atkı ve çözgü kıvrımlarının ve iplikler arasındaki mesafelerinde değiştikleri bilinmektedir. Ancak bu değişkenler arasındaki ilişkinin lineer olup olmadığı tam olarak bilinmemektedir. Araştırmacı, atkı havlı kumaşların da sürtünme kuvvetlerini incelemiştir. Sürtünme kuvvetleri ölçülen kumaşlara ait bilgiler ve sürtünme kuvvetleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4 ve Tablo 5 birlikte incelendiğinde, atkı havlı kumaşların sürtünme kuvvetlerinin, bezayağı kumaşların sürtünme mukavemetlerinin yaklaşık 2 katı olduğu görülmektedir. Kumaş yüzü - kumaş yüzü sürtünme değerleri de beklenildiği gibi kumaş tersi - kumaş tersi sürtünmesinden büyük çıkmıştır. Çünkü kadife gibi havlı kumaşların ön yüzleri atkı havları boyunca, kumaşın arka yüzüne göre daha yumuşak ve dolayısıyla, sürtünmeye karşı daha hassastırlar. Fitilli kumaşlarda fitil yüksekliği ile sürtünme kuvvetinin değişimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Fitol yüksekliğinin sürtünme kuvveti üzerindeki etkileri (Ajayi 1992b)

Fitol yüksekliği arttıkça, fitil enince sürtünme kuvveti artarken, fitil boyunca değişmemektedir. Sürtünme davranışları incelenen bezayağı ve kadife kumaşların, sürtünme kuvvetleri arasındaki farklılıklar, kumaşların yüzeylerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

Tabor ve Bowden 1997'de kumaşların sürtünme özelliklerinin, kumaşların ve ipliklerin yapıları ile ilgili ve oldukça kompleks özellikler taşıdığını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar deforme olabilen yüzeyler için sürtünme kuvvetini aşağıdaki formülle ifade etmişler ve bu formül ile Amontons'a ait klasik formül arasında önemli farklılıklar bulmuşlardır (Naik and Virto, 1997).

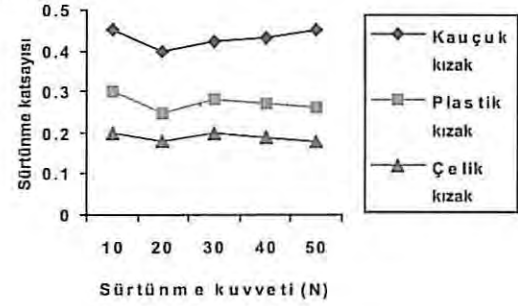
$$F_f = a.(N)^n \quad (4)$$

a ve n yüzeye bağlı sürtünme sabitleri, F_f sürtünme kuvveti ve N ise yüzeye etki eden normal kuvvettir.

Wilson 1997'de kumaşlarda sürtünme kuvvetleri üzerinde temas alanının etkili olduğunu ifade etmiştir. Kumaşlar arasındaki kinetik sürtünme üzerinde basıncın etkisini araştırarak, sürtünme katsayısının artmasıyla, normal kuvvetin arttığını belirtmiştir (Naik and Virto, 1997).

Naik ve Virto 1997'de katı ve metalik yüzeylerde, kumaşların kayma sürtünme davranışları incelemek için bazı deneyler yapmışlardır. Kayma sürtünme kuvvetinin ölçümü için, uygun sürtünme donanımı ilave edilen, Instron Mukaverret Ölçeri kullanılmıştır. Ölçüm prensibi, yatay platform üzerindeki kumaş üzerinde farklı yüzey özelliklerindeki kızığın hareket ettirilmesidir. Kızak; kumaş

üzerinde istenen sıkıştırma kuvvetinin oluşturulması için, ağırlıklarla donatılmıştır. Kızak 0.040 m x 0.072 m boyutlarında olup sabit hızla hareket ettirilmektedir. Kızak yüzeyi paslanmaz çelik, naylon ve kauçuk kaplanmıştır. Farklı liflerden elde edilen, farklı doku türleri ve farklı atkı çözgü sıklıklarında dokunan kumaşlar üzerinde kayma sürtünme davranışları ölçülmüştür. Farklı kızak yüzeylerine göre kumaşlarda gözlenen sürtünme davranışları Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. $V = 1,667 \times 10^{-3}$ m/s'n kızak hızıyla, farklı kızak yüzeylerinde, kumaşların sürtünme katsayıları (Naik ve Virto, 1997)

Kauçuk kızakla yapılan denemede maksimum sürtünme katsayısı elde edilirken, çelik kızak ise minimum sürtünme katsayısı değeri vermektedir. Araştırmacılar tarafından kızak hızı değiştirilerek, aynı kızak yüzeylerinde benzer sürtünme katsayısı değerleri bulunmuştur.

Kim ve arkadaşları 1999'da, kumaşların fiziksel özellikleri ile sürtünme katsayıları arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Bu amaç için, kumaşın bazı fiziksel ve yüzey özellikleri ile, sürtünme katsayıları arasında korelasyon katsayıları hesaplamışlardır. Eğilme rijitliği kumaş ağırlığı ile eğilme uzunluğunun çarpımı olarak verilmiştir. Sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı değerleri, 8 x 5 cm ölçülerindeki alüminyum kızak, kumaş numunesiyle kaplanmış ağaç platform üzerinde, 5 cm/dakika hızla yatay olarak hareket ettirilerek ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan kumaşlara ait bilgiler ve kumaşlara ait sürtünme kuvveti değerleri de Tablo 6'da, sürtünme katsayıları ile kumaş özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları da Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6. Çalışmada kullanılan kumaşlara ait bilgiler ve statik ve kinetik sürtünme değerleri (Ajayi 1992b)

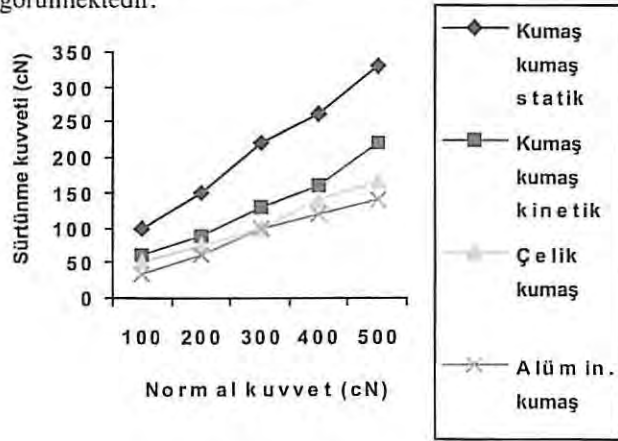
Lif İçeriği (%)	Sıklıklar (tel/cm)		Doku Türü	Kalınlık (mm)	Statik Sürtünme		Kinetik Sürtünme		Eğilme Rijitliği (mg x cm)	
	Çözgü	Atkı			F (gf)	μ_s	F (gf)	μ_k	Çözgü	Atkı
20/80 PES/pamuk	33	22	Bezayağı	0.46	9.72	0.388	9.53	0.381	106	90
20/80 PES/pamuk	33	22	Bezayağı	0.44	8.72	0.348	8.64	0.345	191	105
30/70 PES/pamuk	38	16	2/1 Dimi	0.61	8.24	0.329	8.25	0.329	429	368
30/70 PES/pamuk	37	16	2/1 Dimi	0.60	8.65	0.346	8.61	0.344	583	530
100 pamuk	37	17	3/1 Dimi	0.76	8.20	0.328	8.31	0.332	485	342
100 pamuk	38	18	3/1 Dimi	0.68	7.98	0.319	8.00	0.320	802	561
100 pamuk	36	24	5/3 Saten	0.82	8.43	0.337	8.28	0.331	854	929
100 pamuk	35	19	5/3 Saten	0.82	8.62	0.344	8.61	0.344	999	638

Tablo 7. Sürtünme özellikleri ile bazı kumaş özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları (Ajayi 1992b)

	Ağırlık (mg)	Kalınlık (mm)	Eğilme Rijitliği (mg.cm)
μ_s	-0.651	-0.626	-0.595
μ_k	-0.617	0.576	-0.575

Korelasyon katsayısının negatif olması, kumaş ağırlığı, kumaş kalınlığı ve kumaşın eğilme rijitliği arttıkça, kumaşın statik ve kinetik sürtünme katsayılarının azaldığını göstermektedir. Korelasyon katsayısının 1'e yakın olması da, kumaş sürtünme katsayılarının belirtilen kumaş özelliklerinden etkilendiğini göstermektedir.

Aliouche ve Viallier 2000'de pamuk-polyester yelken bezi kumaşların sürtünme davranışlarını, kumaşların farklı yüzeylerle sürtünmeleri esas alarak, incelemişlerdir. Şekil 4'te artan normal kuvvet ile, kumaşların farklı yüzeylere sürtünmesi sonucunda oluşan sürtünme kuvvetinin grafiği görülmektedir.



Şekil 4. Yelken bezi için farklı yüzeylere sürtünmesi ile değişen sürtünme kuvvetleri (Aliouche ve Viallier, 2000)

Tüm yüzeyler için normal kuvvet arttıkça, sürtünme kuvvetinin de artmaktadır. Çelik kumaş ve alüminyum kumaş sürtünmeleri diğer yüzey sürtünmelerine göre daha düşüktür. $F = K.N^n$ formülündeki K ve n değerlerinin, temas tipine bağlı olarak değişimi Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Polyester-pamuk yelken bezi için farklı temas yüzeylerinde n ve K sabitleri (Aliouche ve Viallier 2000)

Temas Tipi	n	K
Alüminyum-kumaş	0.83	0.79
Plastik-kumaş	0.81	1.01
Çelik-kumaş	0.79	1.46
Kumaş-kumaş statik	0.74	3.18
Kumaş-kumaş kinetik	0.76	1.87

Tablo 8 incelendiğinde, temas tipine bağlı olarak n değerindeki değişimin nispeten önemsiz olduğu ancak K sabitinin önemli oranda değiştiği görülmektedir. Zaten K sabiti direkt olarak yüzey özelliklerine bağlı değişen bir sabittir. n değeri plastik katılar için 1 olarak alınabilir.

Okur 2002'de (2002a) normal kuvvetin, kumaşların sürtünme davranışlarındaki etkilerini araştırmıştır. Bu amaç için Tablo 9'da yapısal özellikleri verilen dokuma kumaşlar kullanılmıştır.

Kumaşların sürtünme mukavemetlerinin ölçümü, Instron Mukavemet Ölçeri ile birlikte çalışabilecek şekilde hazırlanmış ve Ajayi (3,4) tarafından da kullanılan, sürtünme mukavemet ölçeri ile yapılmıştır. Ölçüm prensibi yatay bir platform üzerinde bir kızığın hareket ettirilerek yüzeyler arasındaki sürtünmenin Instron'dan elde edilen sayısal bilgiler aracılığı ile incelenmesine dayanmaktadır. Tablo 10'da statik ve kinetik sürtünme mukavemet değerleri, $\mu = F/N$ formülü ile hesaplanan sürtünme katsayıları verilmiştir.

Tablo 9. Deneyde kullanılan dokuma kumaşların yapısal özellikleri (Okur 2002a)

Kumaş No	Hammadde	Doku Türü	Sıklık (tel/cm)		Gramaj (g/m ²)	İplik No (tex)		İplik Kıvrımı (%)		Örtme Faktörü		Kalınlık (mm)
			Çözü	Atkı		Çözü	Atkı	Çözü	Atkı	Çözü	Atkı	
1	Pamuk	Bezayağı	25,7	22,8	149,8	18,0	34,0	4,2	17,2	1,1	1,3	0,38
2	Pamuk	Balıksırtı	46,3	21,5	170,2	22,7	23,1	8,0	7,0	2,2	1,0	0,54
3	Pamuk	Kord	44,0	22,5	346,4	34,3	75,8	12,0	7,0	2,6	2,0	1,04
4	Pamuk	Bezayağı	40,0	20,0	151,5	27,5	28,4	16,0	3,0	2,1	1,1	0,41
5	Yün	Bezayağı	27,5	24,0	179,0	32,5	31,4	8,0	19,8	1,6	1,3	0,37
6	Yün	2/2 Dimi	30,3	26,0	262,4	41,0	41,0	9,0	13,0	1,9	1,7	0,57
7	Yün	2/2 Dimi	24,6	24,6	316,6	55,3	57,2	21,7	18,2	1,8	1,9	0,76
8	Yün	2/2 Dimi	34,0	26,0	300,0	43,0	42,0	10,8	19,5	2,2	1,7	0,76

Tablo 10. Kumaşlara ait statik ve kinetik sürtünme mukavemet değerleri ve sürtünme katsayıları (Test hızı=50 mm/dakika, süre 3 dakika) (Okur 2002a)

Kumaş Kodu		N=1,2 g/cm ²				N=2,4 g/cm ²				N=4,8 g/cm ²			
		F _s	F _k	μ _s	μ _k	F _s	F _k	μ _s	μ _k	F _s	F _k	μ _s	μ _k
1	Ç	79,42	50,00	1,709	1,076	127,80	79,60	1,376	0,857	215,68	125,80	1,161	0,677
	A	76,76	46,80	1,652	1,007	129,46	80,80	1,394	0,870	224,34	131,80	1,207	0,708
2	Ç	95,40	64,10	2,054	1,380	150,84	104,00	1,624	1,119	229,34	149,80	1,234	0,806
	A	95,60	63,30	2,058	1,363	157,88	104,40	1,699	1,124	254,18	161,60	1,368	0,869
3	Ç	90,80	52,26	1,955	1,147	152,72	84,30	1,644	0,907	258,14	152,40	1,389	0,820
	A	97,22	62,85	2,093	1,353	172,60	104,20	1,858	1,122	268,38	176,80	1,541	0,951
4	Ç	77,18	51,70	1,662	1,113	122,12	82,40	1,315	0,887	202,08	129,40	1,088	0,696
	A	75,84	49,80	1,633	1,072	130,20	87,70	1,401	0,944	214,62	135,80	1,155	0,731
5	Ç	62,84	47,20	1,353	1,016	101,58	78,10	1,093	0,841	180,12	130,00	0,969	0,699
	A	56,24	45,20	1,211	0,973	104,46	79,50	1,124	0,856	186,50	137,00	1,004	0,737
6	Ç	71,78	50,80	1,545	1,094	117,16	82,40	1,261	0,887	210,26	141,60	1,132	0,762
	A	62,58	43,90	1,347	0,945	110,80	77,40	1,193	0,833	198,58	135,70	1,069	0,730
7	Ç	81,38	57,30	1,752	1,234	133,20	93,20	1,434	1,003	242,98	158,40	1,308	0,852
	A	80,94	53,00	1,742	1,141	137,94	95,60	1,485	1,029	256,48	160,40	1,380	0,863
8	Ç	81,06	55,30	1,745	1,911	137,18	93,20	1,477	1,003	245,80	163,60	1,323	0,880
	A	77,96	53,00	1,678	1,141	138,98	91,80	1,496	0,988	252,60	164,60	1,359	0,886

Tablo 10 incelendiğinde, normal kuvvet arttıkça statik sürtünme katsayısında (μ_s) ve kinetik sürtünme katsayısında (μ_k) azalma görülmektedir. Tüm kumaşlar ve tüm normal kuvvetler için statik sürtünme mukavemeti kinetik sürtünme mukavemetinden yüksek bulunmuştur.

Okur 2002'de (2002b) viskon dokuma kumaşlarda bazı yapısal özelliklerin sürtünme özelliklerine etkilerini incelemiştir. Araştırmacının kullandığı kumaşlara ait yapısal özellikler Tablo 11'de, kumaşlara ait sürtünme parametreleri de Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 11. Viskon kumaşların yapısal özellikleri (Okur 2002b)

Kumaş No	Doku Türü	Sıklık (tel/cm)		Gramaj (g/m ²)	İplik No (tex)		İplik Kıvrımı (%)		Örtme Faktörü		Kalınlık (mm)
		Çözüğü	Atkı		Çözüğü	Atkı	Çözüğü	Atkı	Çözüğü	Atkı	
1	2/1 dimi	28,4	11,0	110,0	24,5	26,5	5,75	8,55	1,41	5,07	0,348
2	2/1 dimi	29,0	16,4	115,9	24,5	26,5	5,40	10,44	1,44	0,84	0,348
3	2/1 dimi	28,5	20,4	128,9	24,5	26,5	7,45	10,60	1,41	1,05	0,350
4	2/1 dimi	28,6	23,7	137,8	24,5	26,5	6,25	9,05	1,42	1,22	0,358
5	2/1 dimi	28,8	11,8	108,3	24,5	21,5	5,90	9,40	1,43	0,55	0,354
6	2/1 dimi	28,7	17,4	111,5	24,5	21,5	4,90	9,35	1,42	0,81	0,334
7	2/1 dimi	29,1	21,8	122,4	24,5	21,5	5,38	9,20	1,44	1,01	0,340
8	2/1 dimi	29,0	24,1	128,5	24,5	21,5	7,15	10,21	1,44	1,12	0,350
9	2/2 panama	28,0	12,0	111,1	24,5	30,2	5,90	9,10	1,39	0,66	0,394
10	2/2 panama	29,0	16,2	123,6	24,5	30,2	5,85	8,85	1,44	0,89	0,368
11	2/2 panama	29,0	20,1	139,9	24,5	30,2	6,35	9,35	1,44	1,10	0,388
12	2/2 panama	29,0	24,8	153,7	24,5	30,2	6,50	9,76	1,44	1,36	0,384
13	2/2 panama	28,6	11,6	106,2	24,5	25,7	4,70	8,40	1,42	0,59	0,374
14	2/2 panama	30,0	16,7	126,0	24,5	25,7	5,88	9,33	1,48	0,85	0,388
15	2/2 panama	29,8	21,2	138,0	24,5	25,7	7,20	10,50	1,48	1,07	0,396
16	2/2 panama	29,0	24,4	136,0	24,5	25,7	7,85	13,85	1,44	1,24	0,388

Tablo 12. Kumaşlara ait sürtünme özellikleri (Test hızı=50 mm/dakika, normal yük= 1,2g/cm²) (Okur 2002b)

Kumaş No	F _s		F _k		μ _s		μ _k	
	Çözüğü	Atkı	Çözüğü	Atkı	Çözüğü	Atkı	Çözüğü	Atkı
1	68,00	65,34	43,00	41,40	1,47	1,41	0,93	0,89
2	67,94	68,52	42,60	41,00	1,46	1,48	0,92	0,88
3	65,76	66,62	42,40	42,30	1,42	1,43	0,91	0,91
4	67,86	71,68	46,20	47,40	1,46	1,54	0,99	1,02
5	62,74	64,08	40,60	38,46	1,35	1,38	0,87	0,83
6	70,18	65,98	41,10	39,10	1,51	1,42	0,88	0,84
7	64,80	64,34	40,50	41,66	1,40	1,39	0,87	0,90
8	66,38	72,76	42,80	44,20	1,43	1,57	0,92	0,95
9	62,64	60,34	41,30	39,50	1,35	1,30	0,89	0,85
10	62,72	64,22	41,72	36,00	1,35	1,38	0,90	0,78
11	73,28	73,64	42,34	42,66	1,58	1,59	0,91	0,92
12	71,52	77,28	46,76	46,86	1,54	1,66	1,01	1,01
13	63,98	61,78	40,50	41,08	1,38	1,33	0,93	0,89
14	67,76	71,78	42,34	43,60	1,46	1,55	0,87	0,88
15	66,18	72,12	44,36	45,20	1,42	1,55	0,91	0,94
16	66,14	72,24	43,70	48,20	1,42	1,55	0,96	0,97

Araştırmacıya göre, atkı sıklığının kumaş sürtünme özelliklerinin etkisi doku tipi ve atkı numarasının etkisinden daha fazladır. Atkı sıklığından hareketle iplik kıvrımı, örtme faktörü ve kumaş dengesinin de kumaş sürtünme özellikleri üzerinde etkili olduğu söylenebilir.

3. SONUÇ

Kumaşlar gibi elastik ve deforme olabilen materyaller için sürtünme kuvvetleri klasik Coulomb sürtünme kuvveti formülleri ile açıklanamaz. Katı materyaller için sürtünme kuvveti ile sürtünme katsayıları arasındaki ilişki lineer iken, kumaşlar için bu ilişki lineer değildir. Kumaşlar için sürtünme kuvveti formülü oldukça komplekstir. Uygulanan normal kuvvet, kumaş atkı ve çözgü sıklıkları, gramaj, kalınlık, kullanılan iplik numaraları ve bükümü kumaş sürtünme kuvvetine etki eden faktörlerden bazılarıdır. Kumaşların sürtünme özelliklerinin bilinmesi, kumaşların kullanım ömrünün ve performansının tahmin edilmesinde gereklidir. Genel olarak benzer yapısal özelliklere sahip kumaşlar için düşük sürtünme katsayısına sahip kumaşlar yüksek sürtünme katsayısına sahip kumaşlara göre daha pürüzsüzdür.

KAYNAKLAR

- Adanur, S. 1995. Wellington Sears Handbook of Industrial Textile, 832p. Technomic Publishing Company, USA

- Aliouche, D. and Viallier, P. 2000. Mechanical and tactile compression of fabrics: Influence on handle, Textile Research Journal, 70, 939-944

- Ajayi, O. J. 1992. Fabric smoothness, friction, and handle, Textile Research Journal, 62, 52-59

- Ajayi, O. J. 1992. Effects of fabric structure on frictional properties, Textile Research Journal, 62, 87-93

- Beer P.F. and Johnston. R. 1983. Mühendisler İçin Mekanik Statik, 382s. Birsen Kitapevi Istanbul

- Kalli, F. 1986. Dokuma Teknolojisi, 160s. Pano Grafik.

- Kim, J.O. and Slaten, B.L. 1999. Objective evaluation of fabric hand, Part I: Relationships of fabric hand by the extraction method and related physical and surface properties, Textile Research Journal, 69,59-67

- Naik, A. and Virto, L. 1997. Frictional behaviour of textile fabrics, Part I: Sliding phenomena of fabrics on metallic and polymeric solid surfaces, Textile Research Journal, 67, 793-802

- Okur, A.,2002. Kumaşların sürtünme davranışları üzerine bir araştırma Bölüm I: Aynı cins kumaşlar arasındaki statik ve kinetik sürtünme dirençlerinin incelenmesi, Tekstil Maraton, Yıl:12, Sayı :59, 47-57

- Okur, A.,2002. Kumaşların sürtünme davranışları üzerine bir araştırma Bölüm II: Viskon kumaşlarda bazı yapısal özelliklerin sürtünme özelliklerine etkileri, Tekstil Maraton, Yıl:12, Sayı :59, 58-62