İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜNLÜ DOKUMA KUMAŞLARIN SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Melek GÜL

Anabilim Dalı : TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ

Programı : TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ

EYLÜL 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜNLÜ DOKUMA KUMAŞLARIN SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Melek GÜL
(503051813)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02 Eylül 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Eylül 2008

Tez Danışmanları :	**Doç. Dr. Nevin Çiğdem GÜRSOY**
	Yrd. Doç. Dr. İlker Murat KOÇ
Diğer Jüri Üyeleri	**Prof. Dr. Emel ÖNDER**
	Doç. Dr. Ömer Berk BERKALP
	Yrd. Doç. Dr. Ayhan KURAL

EYLÜL 2008

ÖNSÖZ

Bu tezin oluşmasında desteğini esirgemeyen tez danışmanlarım Doç. Dr. Nevin Çiğdem GÜRSOY ve Yrd. Doç. Dr. İlker Murat KOÇ' a, bu çalışma boyunca desteğini esirgemeyen ailem ve bütün arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Numunelerin elde edilmesinde yardımcı olan Murat ORUÇ nezdinde Altınyıldız firmasına, Zorlu A.Ş.'ye, deneysel tasarımda işbirliği içerisinde olduğumuz Carnegie Mellon Üniversitesi'nden Bilsay SÜMER' e teşekkürü borç bilirim.

Eylül 2008

Melek GÜL

Tekstil Mühendisi

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
SEMBOL LİSTESİ **ix**
ÖZET **x**
SUMMARY **xi**

1. GİRİŞ **1**

2. KUMAŞLARDA SÜRTÜNME **4**

2.1. Sürtünme 4
2.2. Kumaşlarda Sürtünme 7
2.3. Kumaş Sürtünmesine Etki Eden Parametreler 8
2.3.1. Tekstil parametreleri 8
2.3.1.1. Elyaf parametrelerinin etkisi 8
2.3.1.2. İplik parametrelerinin etkisi 8
2.3.1.3. Kumaş parametrelerinin etkisi 10
2.3.1.4. Bitim işlemlerinin etkisi 11
2.3.2. Cihaz Parametreleri 12
2.3.2.1. Normal kuvvet 12
2.3.2.2. Hareket hızı 13
2.3.2.3. Kayma yönü 13
2.3.2.4. Kızak veya ölçüm ucu malzemesi 13
2.3.2.5. Yükleme zamanı 13
2.3.2.6. Sürtünme ortamı 14
2.4. Kumaşlarda Sürtünmeyi Ölçmek İçin Kullanılan Metotlar 14
2.4.1. Eğik düzlem metodu 14
2.4.2. Kızak metodu 16
2.4.3. Ölçüm ucu metodu 18
2.5. Sürtünmenin Diğer Kumaş Özellikleriyle İlişkisi 19
2.5.1. Kumaş tutumu 19
2.5.2. Kumaş aşınma dayanımı 21
2.5.3. Kumaş dökümlülüğü 21
2.5.4. Kumaş sıkıştırılabilirliği 21
2.5.5. Diğer kumaş özellikleri 22

3. DENEYSEL ÇALIŞMA **23**

3.1. Sürtünme Deney Düzeneği ve Yöntem 23
3.1.1. Sürtünme deney düzeneği işlem parametrelerinin belirlenmesi 24
3.1.1.1. Ölçüm ucu malzemesi 24
3.1.1.2. Ölçüm ucu çapı 25
3.1.1.3. Ölçüm ucu profili 26

3.1.1.4. Ölçüm ucu hızı 26
3.1.1.5. Ön yükleme kuvveti 27
3.1.1.6. Ölçüm yönü 28
3.2. Malzeme 28
3.3. Sonuçlar 31
3.3.1. Aynı desende farklı atkı sıklıklara sahip kumaşların farklı ön yükleme kuvvetleri altında sürtünme katsayılarının irdelenmesi 32
3.3.1.1. 10 mN ön yükleme kuvveti 33
3.3.1.2. 50 mN ön yükleme kuvveti 38
3.3.1.3. 100 mN ön yükleme kuvveti 42
3.3.1.4. 200 mN ön yükleme kuvveti 45
3.3.2. 200 mN ön yükleme kuvveti altında sonuçların irdelenmesi 49
3.3.3. Sonuçların istatistiksel değerlendirilmesi 51
3.3.3.1. Atkı sıklıklarının sürtünmeye etkisi 52
3.3.3.2. Toplam örtü faktörünün sürtünmeye etkisi 54
3.3.3.3. Normal kuvvetin sürtünmeye etkisi 55
3.3.4. Wilson denklemleri 56
3.3.4.1. Atkı sıklıklarının sürtünmeye etkisinin incelenmesi 57
3.3.4.2. Ölçüm yönünün sürtünmeye etkisinin incelenmesi 60
3.3.4.3. Örgü tipinin sürtünmeye etkisinin incelenmesi 63

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 66

4.1. Sonuçlar 66
4.2. Sürtünme Ölçüm Cihazının Konvansiyonel Cihazlardan Farkları 67
4.3. Öneriler 68

KAYNAKLAR 70

ÖZGEÇMİŞ 74

KISALTMALAR

KES-F	**:** Kawabata Evaluation System for Fabrics
HESC	**:** Hand Evaluation and Standardization Committee
HV	**:** Hand Value
THV	**:** Total Hand Value
AATCC	**:** American Association of Textile Chemists and Colorists
ASTM	**:** American Society for Testing and Materials
FAST	**:** Fabric Assurance by Simple Testing
CSIRO	**:** Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
FSAI	**:** Fabric Structural Asperity Index
QE	**:** Quality Energy
SPSS	**:** Statistical Package for the Social Sciences
KD 2/1	**:** Kırık dimi 2/1
KD 2/2	**:** Kırık dimi 2/2
Std. s.	**:** Standart sapma
MATLAB	**:** Matrix Laboratory

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1	Sürtünme Cihazı Çalışma Koşulları	24
Tablo 3.2	Kumaşlarda Değişen Yapısal Özelliklerin Gösterimi	29
Tablo 3.3	Deney Kumaşlarına Ait Fiziksel Özellikler	30
Tablo 3.4	10 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Ölçülen Sürtünme Katsayısı (μ), Standart Sapma (Std. s.), Normal Tepki Kuvveti (N), Sürtünme Kuvveti (F)	34
Tablo 3.5	50 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Ölçülen Sürtünme Katsayısı (μ), Standart Sapma (Std. s.), Normal Tepki Kuvveti (N), Sürtünme Kuvveti (F)	38
Tablo 3.6	100 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Ölçülen Sürtünme Katsayısı (μ), Standart Sapma (Std. s.), Normal Tepki Kuvveti (N), Sürtünme Kuvveti (F)	42
Tablo 3.7	200 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Ölçülen Sürtünme Katsayısı (μ), Standart Sapma (Std. s.), Normal Tepki Kuvveti (N), Sürtünme Kuvveti (F)	45
Tablo 3.8	Kumaşlara Ait Farklı Ön Kuvvetler Altında Yapılan Ölçümlerde Sürtünme Katsayısı (μ) ve Standart Sapma (Std. s.) Değerleri	52
Tablo 3.9	KD2/1 Kumaşlara Ait Atkı Sıklık - μ Korelasyonu	53
Tablo 3.10	KD2/2 Kumaşlara Ait Atkı Sıklık - μ Korelasyonu	53
Tablo 3.11	KD 2/1 Kumaşlar için Toplam Örtü Faktörü - μ Korelasyonu	54
Tablo 3.12	KD 2/2 Kumaşlar için Toplam Örtü Faktörü - μ Korelasyonu	54
Tablo 3.13	KD 2/1 Kumaşlar İçin Normal Kuvvet - μ Korelasyonu	55
Tablo 3.14	KD 2/2 Kumaşlar İçin Normal Kuvvet - μ Korelasyonu	55
Tablo 3.15	KD 2/1 Kumaşlarına Ait Çözgü ve Atkı Yönünde Elde Edilen Wilson Denklemleri Katsayıları	57
Tablo 3.16	KD2/2 Kumaşlarına Ait Çözgü ve Atkı Yönünde Elde Edilen Wilson Denklemi Katsayıları	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Kaymadaki Temas Esnasında Sürtünme Kuvveti F, Cismin Ağırlığı W, Normal Tepki Kuvveti N ve Hız V' nin Gösterimi.. 4
Şekil 2.2 : Sürtünme Kuvveti – Zaman Diyagramında Statik ve Kinetik Sürtünme Kuvvetlerinin Gösterimi..... 5
Şekil 2.3 : Coulomb'un Pürüzlü Yüzeyleri Gösterimi..... 6
Şekil 2.4 : İki Metal Yüzeyin Birbirine Dokunma Geometrisi 6
Şekil 2.5 : Kumaşlarda Sürtünmeyi Etkileyen Faktörler 9
Şekil 2.6 : Pamuklu Kumaşlarda Normal Basıncın (N) Birim Alana Düşen Kinetik Sürtünme Kuvvetine (F) Oranı (atkı – atkı hareketinde). 12
Şekil 2.7 : Shirley Kumaş Sürtünme Test Cihazı..... 14
Şekil 2.8 : Eğik Düzlemde Kumaş Sürtünme Özelliklerinin Belirlenmesi.... 15
Şekil 2.9 : Gardco Sürtünme Katsayısı Ölçeri 16
Şekil 2.10 : Instron Mukavemet Cihazı Sürtünme Aparatının Görüntüsü 17
Şekil 2.11 : Pamuklu Kort Kumaşların Sürtünme Direnci Grafiği (atkı/atkı). 17
Şekil 2.12 : Malzemeler Arasında Yapış - Kay Hareketinin Oluşumu..... 18
Şekil 2.13 : US Patents 6397672' e Göre Kumaşlarda Yüzey Sürtünme Katsayılarını Ölçmek İçin Kullanılan Sürtünme Cihazı..... 18
Şekil 2.14 : KES-FB4 Cihazının Şematik Görünümü..... 19
Şekil 2.15 : Birincil Tutum Değerlerinin İlişkili Olduğu Mekanik Özellikler 20
Şekil 3.1 : Sürtünme Düzeneğinin Şematik Görünümü..... 23
Şekil 3.2 : Örtü Faktörünün Hesaplanması İçin Kullanılan Değerlerin Dokuma Kumaş Yapısı Üzerinde Gösterimi..... 29
Şekil 3.3 : Deney Kumaşların Kodlanma Şekli..... 30
Şekil 3.4 : Kırık Dimi 2/1 Örgüsünün İki Boyutlu Gösterimi (a) ve Bu Örgüdeki Kumaşın Fotoğrafı (b)..... 31
Şekil 3.5 : Kırık Dimi 2/2 Örgüsünün İki Boyutlu Gösterimi..... 31
Şekil 3.6 : KD2/1 Örgüsünde, 25, 28 ve 31 Sıklıklarında Dokunmuş Kumaşların Atkı (a) ve Çözgü (b) Yönünde 10 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Alınan Sürtünme Katsayısı Eğrilerinin Karşılaştırılması..... 36
Şekil 3.7 : KD2/2 Örgüsünde, 25, 28 ve 31 Sıklıklarında Dokunmuş Kumaşların Atkı (a) ve Çözgü (b) Yönünde 10 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Alınan Sürtünme Katsayısı Eğrilerinin Karşılaştırılması..... 37
Şesil 3.8 : KD2/1 Örgüsünde, 25, 28 ve 31 Sıklıklarında Dokunmuş Kumaşların Atkı (a) ve Çözgü (b) Yönünde 50 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Alınan Sürtünme Katsayısı Eğrilerinin Karşılaştırılması..... 40

Şekil 3.9 : KD2/2 Örgüsünde, 25, 28 ve 31 Sıklıklarında Dokunmuş Kumaşların Atkı (a) ve Çözgü (b) Yönünde 50 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Alınan Sürtünme Katsayısı Eğrilerinin Karşılaştırılması..... 41
Şekil 3.10 : KD 2/1 Örgüsünde, 25, 28 ve 31 Sıklıklarında Dokunmuş Kumaşların Atkı (a) ve Çözgü (b) Yönünde 100 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Alınan Sürtünme Katsayısı Eğrilerinin Karşılaştırılması..... 43
Şekil 3.11 : KD 2/2 Örgüsünde, 25, 28 ve 31 Atkı Sıklıklarında Dokunmuş Kumaşların Atkı (a) ve Çözgü (b) Yönünde 100 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Alınan Sürtünme Katsayısı Eğrilerinin Karşılaştırılması..... 44
Şekil 3.12 : KD 2/1 Örgüsünde, 25, 28 ve 31 Atkı Sıklıklarında Dokunmuş Kumaşların Atkı (a) ve Çözgü (b) Yönünde 200 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Alınan Sürtünme Katsayısı Eğrilerinin Karşılaştırılması..... 47
Şekil 3.13 : KD 2/2 Örgüsünde, 25, 28 ve 31 Atkı Sıklıklarında Dokunmuş Kumaşların Atkı (a) ve Çözgü (b) Yönünde 200 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Alınan Sürtünme Katsayısı Eğrilerinin Karşılaştırılması..... 48
Şekil 3.14 : KD 2/1 (a) ve KD 2/2 (b) Kumaşlarda Atkı Sıklıklarının Değişimi ile Sürtünme Katsayısının Değişimi..... 49
Şekil 3.15 : KD 2/1 ve KD 2/2 Kumaşlarda Çözgü (a) ve Atkı (b) Yönünde Desenin Değişimi ile Sürtünme Katsayısının Değişimi..... 50
Şekil 3.16 : KD 2/1 Kumaşlarının Çözgü Yönünde (a) ve Atkı Yönünde (b) Wilson Denklemlerinin Karşılaştırılması 58
Şekil 3.17 : KD 2/2 Kumaşlarının Çözgü Yönünde (a) ve Atkı Yönünde (b) Wilson Denklemlerinin Karşılaştırılması..... 59
Şekil 3.18 : KD2/1/25 (a), KD2/1/28 (b) ve KD2/1/31 (c) Kumaşına Ait Çözgü Yönünde ve Atkı Yönünde Elde Edilen Normal Basıncın (N/A) Birim Alana Düşen Sürtünme Kuvvetine (F/A) Etkisinin Gösterilmesi..... 61
Şekil 3.19 : KD2/2/25 (a), KD2/2/28 (b) ve KD2/2/31 (c) Kumaşlarına Ait Çözgü Yönünde ve Atkı Yönünde Elde Edilen Normal Basıncın (N/A) Birim Alana Düşen Sürtünme Kuvvetine (F/A) Etkisinin Gösterilmesi..... 62
Şekil 3.20 : KD2/1/25 ve KD2/2/25 Kumaşlarına Ait Çözgü Yönünde (a) ve Atkı Yönünde (b) Elde Edilen Wilson Denklemlerinde Örgü Tipinin Sürtünmeye Etkisinin Gösterilmesi..... 63
Şekil 3.21 : KD2/1/28 ve KD2/2/28 Kumaşlarına Ait Çözgü Yönünde (a) ve Atkı Yönünde (b) Elde Edilen Wilson Denklemlerinde Örgü Tipinin Sürtünmeye Etkisinin Gösterilmesi..... 64
Şekil 3.22 : KD2/1/31 ve KD2/2/31 Kumaşlarına Ait Çözgü Yönünde (a) ve Atkı Yönünde (b) Elde Edilen Wilson Denklemlerinde Örgü Tipinin Sürtünmeye Etkisinin Gösterilmesi..... 65

SEMBOL LİSTESİ

I	**:** Bir raporda bağlantı yapan iplik sayısı
Y_f	**:** Bir raporda yüzen iplik sayısı
A_c	**:** Boşluğun alanı
L_c	**:** Hareket yönünde boşluğun uzunluğu
M	: Cismin kütlesi
F	**:** Sürtünme kuvveti
N	**:** Normal kuvvet
A	**:** Sürtünmede toplam temas eden yüzey alan
F_s	**:** Statik sürtünme kuvveti
F_k	**:** Kinetik sürtünme kuvveti
μ_s	**:** Statik sürtünme katsayısı
μ_k	**:** Kinetik sürtünme katsayısı
μ	**:** Sürtünme katsayısı
C	**:** Sürtünme parametresi
k	**:** Malzemeye özgü katsayı
d	**:** İplik çapı
Ne	**:** İngiliz sistemi iplik numarası
p	: Dokumada iplikler arası açıklık
c	: Örtü faktörü
p	: İstatistikte anlamlılık aralığı

YÜNLÜ DOKUMA KUMAŞLARIN SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Kumaş tutumu insanda oluşan sübjektif bir algıdır ve bu algıyı objektif bir şekilde ölçebilecek alternatif bir sistem günümüze kadar geliştirilmemiştir.

Yüzey sürtünme özellikleri ve kumaş tutumu arasındaki ilişki incelenmiştir. Tek çeşit iplikten, farklı örgülerde ve değişen atkı sıklıklarında dokunmuş dokuma kumaşların yüzey sürtünme katsayıları ölçülmüştür.

Atkı sıklığının, desenin ve atkı-çözgü yönünün sürtünme katsayısına etkisini görmek için bir sürtünme düzeneği hazırlanmış ve deneyler farklı ön kuvvetler altında gerçekleştirilmiştir. Sürtünme ölçüm cihazı için uygun ölçüm ucu malzemesi, çap ve ölçüm hızı belirlenmiştir.

Atkı sıklığının artmasıyla sürtünme katsayısının arttığı görülmüştür. Sürtünme katsayısı, birim alandaki bağlantı sayısının artışı ile yükselmiştir. Bütün kumaşlarda aynı iplik kullanıldığı için, atkı ve çözgü yönünde sürtünme katsayılarında belirgin bir fark görülmemiştir. Kumaşların sürtünme davranışlarının Wilson modeli ile uyumlu olduğu görülmüştür.

INVESTIGATION ON FRICTION PROPERTIES OF WOVEN WOOLLEN FABRICS

SUMMARY

Fabric hand is a subjective feeling and as to date there has not been an alternative objective system built to measure this subjective feeling.

The relationship between fabric hand and surface friction on the textile fabric is considered and friction coefficient is measured for a set of textile fabrics which are made out of same type yarn but different in weft density and weave type.

To determine the effect of weft density, weave type and weft-warp direction on the friction coefficient, a friction setup is designed and the experiments are realized under different preloads for all textile fabrics. For the measurement probe, diameter, material, and velocity of the probe are chosen properly.

It is observed that coefficient of friction increases with weft density. The friction coefficient increases with the number of connection point per unit area. Since the same type yarn is used in all samples, no distinct difference is observed for friction coefficients between warp and weft direction. The results show that measured friction coefficients are compatible with the friction values obtained from Wilson model.

1. GİRİŞ

Tekstilde malzemelerin aralarında oluşan sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayıları önemli bir araştırma konusu olmuştur. Üretimin her bir aşamasında tekstil malzemelerinin birbiri ile sürtünmesi ve makine ile sürtünmesi söz konusudur. Ortaya çıkan bu sürtünme kuvvetleri sonucu meydana gelen aşınma ve kalite kaybı özellikle iplik üretim sistemlerinde ilk ilgi odağı olmuştur.

Kumaşların yüzey sürtünme özelliklerinin incelenmesi ise daha geç tarihlerde araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. Sürtünme kuvvetlerinin kumaş tutumu ve dolayısıyla konfor açısından önemli olduğu saptanmış ve araştırmaların bir kısmı bu yönde ilerlemiştir.

Kumaş tutumu, tekstil malzemesine dokunmayla alınan hissin sübjektif değerlendirilmesi olarak tanımlanmış [1] ve tutumu ölçmek için objektif fakat çok teferruatlı sistemler tasarlanmıştır. American Association of Textile Chemists and Colorists' in (AATCC) toplantısında kumaş yüzey sürtünmesinin tutum açısından önemli bir parametre olduğunun üzerinde durulmuş ve tutumu ölçmek için sürtünmeye dayalı metot ve standart hazırlanmaya başlanmıştır [2].

Yapılan bu çalışmanın amacı farklı desenlerde 3 farklı atkı sıklığında dokunmuş kumaşların farklı ön yükleme kuvvetleri altında, atkı ve çözgü yönlerinde kumaş yüzey sürtünme kuvvetlerini ölçecek ve kumaşlar arası farkları saptayabilecek bir sistem tasarlamak ve test etmektir.

Kumaş yüzey sürtünme kuvvetlerinin tutum ve konfor açısından önemli olması bu çalışmaya ışık tutmuştur.

Kumaş sürtünme özelliklerinin birçok araştırmacı incelemiştir. Genel olarak kumaşların viskoelastik özellikleri üzerinde durulmuş, bunun için çeşitli yükler altında ölçümler alınmıştır. Carr, Ajayi, Ramkumar, Jeddi ve Das bu araştırmacıların birkaçıdır.

Carr [3], giyimlik kumaşlar ile yaptığı deneyler için Instron mukavemet cihazında, hareketli kızak ile sürtünme deneyleri yapmıştır. Deneylerde 7 farklı ağırlık kullanılmıştır. Yükün artışı ile statik ve dinamik sürtünme katsayılarında düşüş net bir şekilde gözlenmiştir.

Ajayi [4], yaptığı çalışmada, kumaş yapısının sürtünme kuvvetini ve yüzey pürüzlülüğünü nasıl etkilediğini araştırmıştır. Sıklıkları ve hav yükseklikleri değişen iki set kumaş oluşturmuştur. Kumaş atkı sıklıkları ve kumaş hav yükseklikleri arttıkça sürtünmeye karşı rezistansın da arttığı görülmüştür.

Ramkumar [5], farklı kumaşların sürtünme özelliklerini incelemiş ve sonuç olarak kumaş sıkılaştıkça kumaşın yüzeyinin daha pürüzlü ve kumaş gevşekleştikçe daha pürüzsüz hissedildiğini vurgulamıştır. Kalite Enerjisi (QE) diye isimlendirdiği bir formül geliştirmiş ve bu formülden elde edilen sonuçları kumaşın kalitesi ile ilişkilendirmiştir. Daha sıkı olan kumaşlara ait QE değerleri daha yüksek çıkmıştır. QE değerinin yüksek olması kumaşların tutumunun kötü oluşunu veya düşük kaliteli kumaş olduğunu göstermiştir [5].

Bertaux [6], yaptığı çalışmada dokuma ve örme kumaşların sürtünme özelliklerini incelemiştir. Ölçümlerini KES-FB4 cihazında ve daha önceden geliştirilmiş Tekstil Sürtünme Analiz cihazında (Textile Friction Analyzer, TFA) yapmıştır. Bu ölçüm sisteminde insanın bir kumaşı eline alışı simüle edilmeye çalışılmış ve bu şartlarda deneyler yapılmıştır. TFA'nın kumaş tutumu hakkında bilgi verebileceği iddia edilmiştir.

Das [7], kumaş sürtünme katsayısını ve pürüzlülük değerini ölçen bir sistem kurmuştur. Kumaşlara ait Wilson sürtünme formülündeki (2.1) k ve n değerleri incelenmiş ve kumaşların malzeme içeriğinin değişimi ile bu katsayıların değişimi incelenmiştir. Ramkumar'ın [8] çalışmasında da k ve n değerlerinin birbirine oranı incelenmiş ve bu değerin kumaşın tutumu hakkında fikir verebileceği savunulmuştur.

Jeddi, dokuma kumaşların [9], atkılı örme kumaşların [10] ve çözgülü örme kumaşların [11] sürtünme özellikleri üzerine geniş bir çalışma gerçekleştirmiştir. Jeddi bu çalışmasında polyester pamuk karışımlı ham ve işlem görmüş kumaşlar üzerinde deneyler yapmıştır. Dokuma yapısının, atkı sıklığının, atkı iplik türünün, atkı iplik durumunun ve terbiye işlemlerinin sürtünme deneylerini ne şekilde

etkilediği incelenmiştir. Jeddi elde ettiği sonuçlara bakarak Kumaş Yapısal Pürüzlülük İndeksi (Fabric Structural Asperity Index, FSAI) adlı bir formül geliştirmiştir.

$$FSAI = f\,(I / Y_f)\; f\,(A_c)\; f\,(L_c) \qquad \textbf{(1.1)}$$

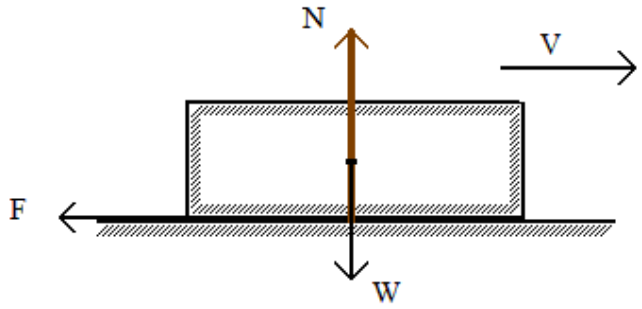
I, bir raporda bağlantı yapan iplik sayısı, Y_f, bir raporda yüzen iplik sayısı, A_c, boşluğun alanı, L_c, hareket yönünde boşluğun uzunluğudur.

Bu bilgiler ışığında, Jeddi, kumaş yüzey sürtünme özelliklerinin bu verilere bağlı bir fonksiyon olarak tanımlamıştır. FSAI değerinin artması ile kumaşlara ait sürtünmeye karşı direnç kuvvetlerinde de artış gözlenmiştir. Yapılan deneyler sonucu dokuma kumaşların geometrik yapılarının sürtünme özelliklerinde en belirgin özellik olduğu görülmüştür [9].

2. KUMAŞLARDA SÜRTÜNME

2.1 Sürtünme

Sürtünme kuvveti, Şekil 2.1' de gösterildiği gibi bir cisim diğer bir cisim üzerinde kayarken ortaya çıkan direnç kuvvetidir [12].



Şekil 2.1: Kaymadaki Temas Esnasında Sürtünme Kuvveti F, Cismin Ağırlığı W, Normal Tepki Kuvveti N ve Hız V' nin Gösterimi

Sürtünme kuvvetinin varlığını fark eden ve ilk defa tanımlayan Leonardo da Vinci' dir. İleri ki yıllarda Amonton tarafından sürtünme konusu incelenmiş ve sürtünmeye ait iki önemli kanun bulunmuştur. Bu özellikler Amonton'un sürtünme kanunları olarak anılırlar;

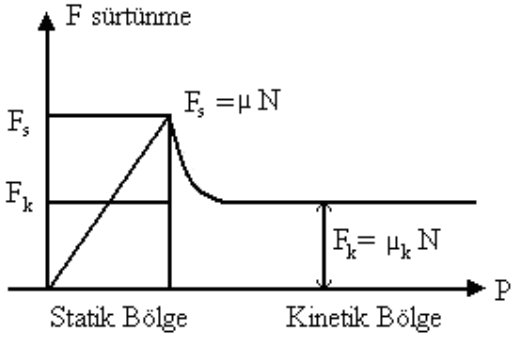
1) Sürtünme kuvveti ile normal kuvvet birbiri ile ilişkilidir.
2) Sürtünme kuvveti, birbiri ile sürtünen iki cisim arasındaki temas eden yüzey alanından bağımsızdır.

Sürtünme kuvveti ve yük arasındaki bağıntı aşağıdaki formüldeki gibi ifade edilir.

$$\mu = F / N \qquad \textbf{(2.1)}$$

μ sürtünme katsayısı, F sürtünmeye karşı direnç kuvveti ve N normal tepki kuvvetidir.

Coulomb, Leonardo da Vinci'den yaklaşık yüzyıl sonra sürtünmeyi daha ayrıntılı incelemiştir. Bir cismi hareketsiz konumdan hareket eder konuma geçirmek için harcanan sürtünme kuvveti ile hareket sürerken gereken sürtünme kuvvetinin farklı olduğunu bulmuş ve göstermiştir. Cismi hareket ettirmek için harcanan ilk kuvvet statik sürtünme kuvveti ve bu kuvvetin normal kuvvete oranı statik sürtünme katsayısıdır. Cisim sabit hızda kayarken, cismin bu hızını koruyabilmesi için harcanan kuvvete kinetik sürtünme kuvveti ve bu kuvvetin normal kuvvete oranı dinamik sürtünme katsayısıdır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Sürtünme Kuvveti – Zaman Diyagramında Statik ve Kinetik Sürtünme Kuvvetlerinin Gösterimi [13]

Sürtünme, başta basit görünse de aslında çok geniş bir konudur ve birçok değişkenden etkilendiği yapılan çalışmalardan anlaşılmıştır. Coulomb, beş ana faktörün sürtünmeye etkisini incelemiştir, bunlar;

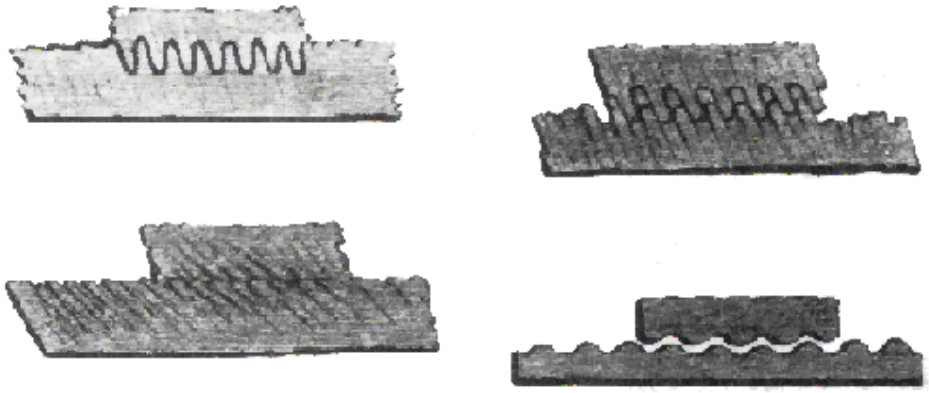
1) Birbiri ile temas eden malzemelerin doğası ve yüzey kaplamaları

2) Yüzey alanının boyutu

3) Normal basınç (ya da kuvvet)

4) Malzemelerin durgun halde birbiri ile temas halinde bekleme süresi

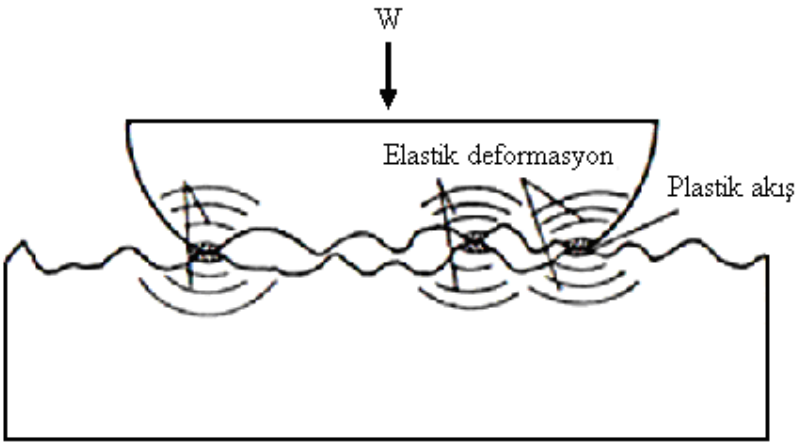
5) Çevre koşulları; sıcaklık, nem ve vakum [14]



Şekil 2.3: Coulomb' un Pürüzlü Yüzeyleri Gösterimi [14]

Coulomb, sürtünmenin yüzeylerdeki pürüzlülükten kaynaklandığını ileri sürmüştür (Şekil 2.3). Çeşitli teoriler ortaya atılmıştır. Bu teorilerin en çok üzerinde durulanı ve konuyu en kapsamlı ele alanı Adezyon Teorisi'dir.

Adezyon teorisine göre metaller arası sürtünme kuvveti iki kuvvete dayanmaktadır; adezyon ve kesme kuvvetleri. Adezyon kuvveti, iki cisim arasında birbiri ile temas eden noktalarda oluşan çekim kuvvetidir. Sürtünme esnasında ilk olarak adezyon kuvvetlerini kırmak için kuvvet harcanır. Kesme kuvveti ise, daha sert yüzey pürüzlülüklerinin birbirini kesmesi için harcanan kuvvettir [12].



Şekil 2.4: İki Metal Yüzeyin Birbirine Dokunma Geometrisi [12]

İki metal yüzey üzerindeki pürüzlerin ve sürtünme esnasında pürüzlülüklerin birbirini kesmesi, kesme esnasındaki deformasyon şekilde (Şekil 2.4) gösterilmiştir.

Coulomb' dan sonra birçok araştırmacı sürtünme üzerine çeşitli malzemeler üzerine çalışmalar yapmışlardır. Araştırmalar sonucu bazı özel malzemelerin kuvvet altında tam olarak plastik davranmadıkları görülmüştür. Bu malzemelere örnek olarak plastikler ve lifler verilebilir.

2.2 Kumaşlarda Sürtünme

Plastik malzemeler, lifler ve genel olarak tekstil malzemeleri viskoelastik malzemeler olarak tanımlanırlar. Viskoelastik malzemeler, kuvvet altında hem viskoz (akışkan), hem de elastik davranan malzemelerdir [15].

Klasik sürtünme denkleminde sürtünme katsayısı μ, malzemeye ait karakteristik bir özellik olarak belirtilir. Tekstil malzemeleri ve plastikler üzerinde yapılan araştırma, Amonton' un bu formülünün geçersizliğini ortaya koymuştur.

Tekstil malzemelerinde sürtünme katsayısı μ ise hem normal kuvvet, hem de temas eden yüzeyin bir fonksiyonudur. Bu tip malzemelerin sürtünme katsayısının yük değişimi ile belirgin bir şekilde değiştiği ve logaritmik bir eğri izlediği gözlenmiştir. Bu konu üzerinde birçok araştırma yapılmış ve formüller çıkartılmıştır fakat en çok kabul edilir olan Wilson [16] modeli olarak anılan aşağıdaki formüldür;

$$F/A = C\,(N/A)^{k} \qquad \textbf{(2.2)}$$

F, sürtünme kuvveti, A, toplam temas eden yüzey alanı, C, sürtünme parametresi, N, normal kuvvet ve k, malzemeye özgü katsayıdır.

Tekstil malzemelerinde sürtünme kuvveti ve katsayısı tekstil üretiminin her aşamasında incelenmiştir fakat ilk olarak lifler üzerinde incelenmiştir. Bunun sebebi sürtünmenin iplik üretiminde, üretimi ve iplik kalitesini etkileyen önemli bir etken olmasıdır. Daha sonra ipliklerin kumaşa dönüştürülme aşamalarındaki ve kumaş halindeki sürtünme özellikleri incelenmiştir.

Kumaş yüzeyinde yapılan sürtünme analizleri daha çok kumaş tutumunu incelemek için yapılmıştır. Hoffman ve Beste yaptıkları çalışmada parmakların kumaşa dokunması ve algılanan hissin sürtünme katsayısı ile açıklanabileceğini ifade etmişlerdir [17].

2.3 Kumaş Sürtünmesine Etki Eden Parametreler

Kumaşlarda sürtünmeye birçok etken etki etmektedir. Kumaşlar, ipliklerden, iplikler ise tek çeşit veya birkaç elyaf çeşidinden meydana gelmektedir. Kumaşlar, son ürün haline gelene kadar mekanik ve kimyasal işlemlere tabi tutulurlar ve en son müşterinin beğenisine sunulurlar.

Tüm üretim parametreleri göz önünde tutulursa, kumaşlarda sürtünmenin çok fazla etkenden etkilendiği görülebilmektedir (Şekil 2.5). Fakat kumaşlarda sürtünme kuvveti üzerinde en çok iplik sürtünmesinin ve kumaş konstrüksiyonun etkisinin olduğu gözlenmiştir [18].

Kumaş sürtünmesine etki eden parametreler, iki ana başlık altında toplanabilir. Bunlar tekstil parametreleri ve cihaz parametreleridir.

2.3.1 Tekstil parametreleri

Tekstil parametreleri, tekstil malzeme özelliklerini ve bu malzemenin gördüğü bütün işlemleri içermektedir.

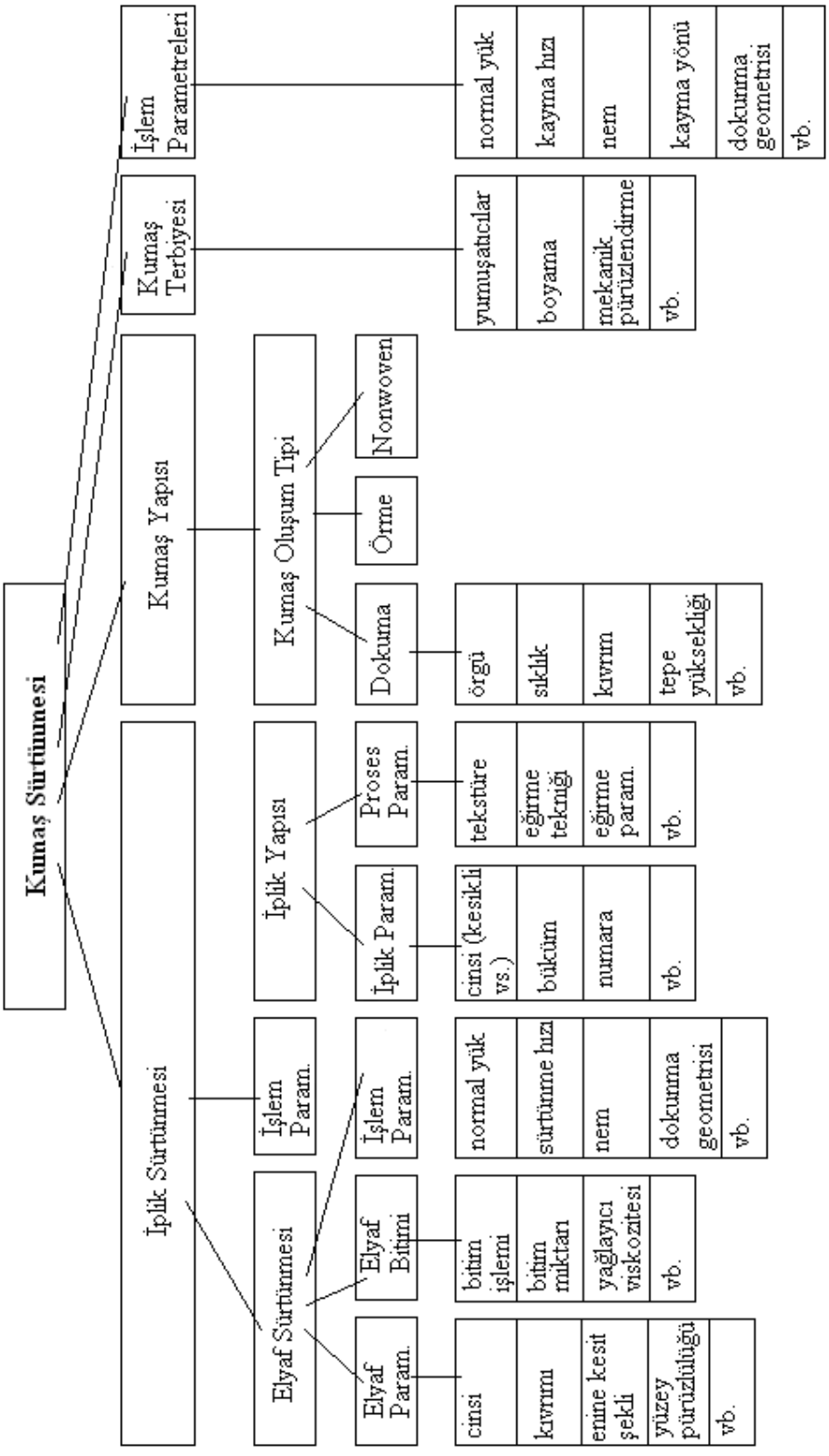
2.3.1.1 Elyaf parametrelerinin etkisi

Das [7], viskon, pamuk, polyester ve bunların karışımı olan kumaşlarda yaptığı deneylerde elyaf cinsinin sürtünme kuvveti ve katsayısı üzerinde belirgin etkisi olduğunu göstermiştir.

2.3.1.2 İplik parametrelerinin etkisi

Kumaş sürtünmesine etki eden iplik parametreleri; iplik tipi, iplik bükümü ve iplik eğirme metodudur.

Wilson [16], farklı kumaşlarla yaptığı deneyler sonucunda kumaşların sürtünme davranışlarını modellemiştir ve Wilson formülü olarak anılan (2.2) formülü geliştirmiştir. Yaptığı çalışmada kumaşlara ait denklemlerde yüksek k değerlerine karşılık düşük C katsayılarının çıktığını görmüştür. Bu katsayılarının değişiminin ise daha çok ipliğin filaman veya kesikli olması ile ilgili olduğunu bulmuştur. Filaman



Şekil 2.5: Kumaşlarda Sürtünmeyi Etkileyen Faktörler [18]

iplikler, kesikli liflerden eğrilmiş ipliklere göre daha düşük sürtünme katsayısına sahip çıkmıştır [3, 16].

Havlı ipliklerde yapılan çalışmalarda, bükümün azalması ile sürtünme kuvvetinin arttığı görülmüştür [18] .

Benzer kumaşlar arasında yapılan sürtünme deneyleri sonucu, kumaşların yüzey sürtünme katsayıları friksiyon iplikten mamul kumaşta en düşük, rotor iplikten mamul kumaşta en yüksek, ring iplikten mamul kumaşta ise diğer kumaşların ortasında bir değer çıkmıştır.

2.3.1.3 Kumaş parametrelerinin etkisi

Kumaş yüzey sürtünmesine etki eden parametreler; kumaşın örgü tipi, kumaş sıklıkları, yüzeydeki elyaf demetlerinin tepe yükseklikleri ve kumaş oluşum tipidir.

Jeddi dokuma kumaşların [9], atkılı örme kumaşların [10] ve çözgülü örme kumaşların [11] sürtünme özellikleri üzerine geniş bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmanın sonucunda dokuma kumaşların geometrik yapılarının sürtünme özelliklerinde en belirgin özellik olduğu görülmüştür [9].

Dokuma kumaşlar üzerine yapılan çalışmalarda dimi örgülerin bezayağı ve türevi örgülerden daha düşük sürtünme kuvvetine ve sürtünme katsayısına sahip olduğu bulunmuştur. Bunun sebebini yüzeyde yüzen iplik uzunluğunun artması ile açıklamışlardır [9, 19].

Dokuma [4, 9] , atkılı örme [10] ve çözgülü örme [11] kumaşlar üzerine yapılan çalışmalarda, sıklıkların artması ile sürtünme kuvvetinin arttığı, sıklıkların azalması ile sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür.

Kumaş yapısındaki iplik tepe yüksekliklerinin artması ile sürtünme kuvvetinin ve yapış-kay hareketinin genliğinin arttığı görülmüştür [20,4].

Çorap ve örme kumaşların sürtünme katsayıları dokuma kumaşlara göre daha yüksek çıkmıştır [20, 18].

2.3.1.4 Bitim işlemlerinin etkisi

Hem kimyasal hem de mekanik işlemlerin kumaşın yüzey sürtünme özelliklerini değiştirdiği bilinmektedir [18].

Kimyasal işlemler, kumaşın sürtünme kuvvetini etkileyen ve değiştiren en büyük etkenlerdir. Kumaş yüzey sürtünmesine en çok etki eden kimyasal işlemler şöyledir; ağartma, yıkama, merserizasyon, yumuşatma, yağlama, kimyasal sertleştiriciler. Ağartma ve yıkama işlemlerinde yüzeydeki yağ ve vaks gibi yabancı maddeler parçalandığı veya uzaklaştırıldığı için kumaş yüzey sürtünme katsayısı artmaktadır [18].

Kim [24], kumaşlara farklı seviyelerde yumuşatıcılar uygulamış ve kumaşların yüzey sürtünme katsayılarını ölçmüştür. Yumuşatıcı konsantrasyon seviyesi arttıkça kumaş yüzey sürtünme katsayısı düşmüş, fakat bu farkın kumaş – kumaş sürtünmesi ölçüm yönteminde daha iyi görüldüğü belirtmiştir.

Yapılan araştırmalarda, kaplama işlemlerinin kumaş yüzey sürtünmesini arttırdığı görülmüştür. Buruşmazlık için yapıya kimyasal yolla bağlanan polidimetilsiloksan lifler arası sürtünmeyi düşürdüğü için kumaşta yüzey sürtünmesini de düşürmektedir [18].

Mekanik işlemler, daha çok yüzey modifikasyonuyla ilgili olduğu için kumaşın sürtünme özelliklerini değiştirirler.

Şardonlama işlemiyle tüylendirme yapılırken kumaşın tutumu da iyileşmekte, kumaş yumuşamaktadır. Şardonlama işleminden sonra ve öncesinde kumaşlarda sürtünme katsayısı ölçülmüş, yüzeydeki elyaf sayısı ve dolayısıyla temas alanı arttığı için şardonlamadan sonra sürtünme katsayısı daha yüksek çıkmıştır.

Kumlama ve taşlama sonrasında kumaşların yüzey sürtünme katsayıları ölçülmüş, statik sürtünme kuvveti artarken dinamik sürtünme kuvvetinin daha çok kumaşın yapısı ve yüzeyindeki elyaf miktarı ile ilişkili olarak değiştiği görülmüştür.

Yapılan çalışmalarda dekatür işleminden sonra kumaşın pürüzlülüğünün azalması ve düzgünlüğünün artması sonucu sürtünme katsayısının da düştüğü görülmüştür [18].

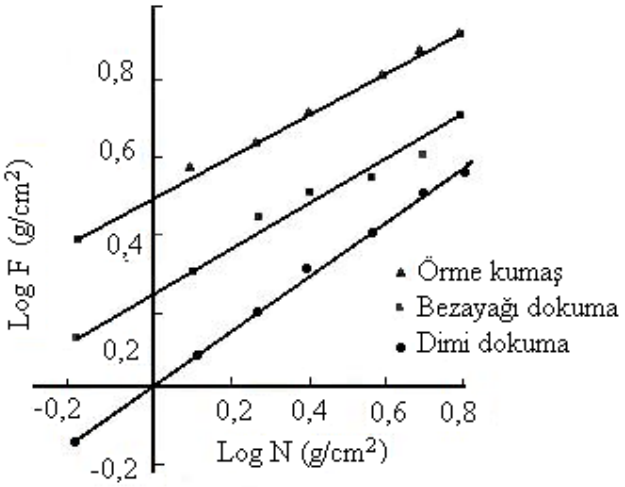
2.3.2 Cihaz parametrelerinin etkisi

Kumaş yüzey sürtünme katsayısı sürtünme testi cihaz çalışma koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Aşağıda cihaz işlem parametrelerinin değişimi ile sürtünme özelliklerinin değişimi hakkında bilgiler verilmiştir.

2.3.2.1 Normal kuvvet

Tekstil malzemeleri, daha önce de tanımlandığı gibi viskoelastik malzemelerdir. Kuvvet altında hem akışkan hem de elastik davranış sergilerler. Yüzeyi pürüzsüz kumaşlar hariç genel olarak, kumaşlar ile temas eden yüzey alanı sabitken yükün artması ile sürtünme katsayısı düşüş gösterir [4, 7, 9].

Normal kuvvet ile sürtünme katsayısının değişimini gözlemlemek için araştırmacılar aynı kumaş üzerinde birden fazla değişik yük altında deneylerini yapmışlardır. Araştırmacılar, yükün değişimi ile sürtünme katsayısının logaritmik bir şekilde değiştiğini görmüşlerdir [3, 4, 7, 8]. Ajayi' nin [20] çalışmasında farklı kumaş yapıları için birim alandaki kinetik sürtünme kuvvetinin normal basınçla olan logaritmik bağıntısı gözükmektedir (Şekil 2.6) .



Şekil 2.6: Pamuklu Kumaşlarda Normal Basıncın (N) Birim Alana Düşen Kinetik Sürtünme Kuvvetine (F) Oranı (atkı – atkı hareketinde) [20]

Carr [3], farklı yükler altında kumaşların sürtünme özelliklerini incelediği çalışmasında, yükün artışı ile statik ve dinamik sürtünme kuvvetleri arasındaki farkın arttığını görmüştür**.**

2.3.2.2 Hareket hızı

Ramkumar [21], mukavemet cihazına entegre edilebilir kızak sistemi ile yaptığı çalışmada, hızın artışı ile statik sürtünme katsayısında sabit bir artış gözlemlemiş, dinamik sürtünme katsayısında ise belirgin bir değişim olmadığını belirtmiştir.

2.3.2.3 Kayma yönü

Dokuma kumaşlarda yöne bağlı olarak sürtünme kuvvetinin değiştiği gözlenmiştir [4, 22]. Wilson [16], kayma yönünün kesikli liflerden yapılmış kumaşlarda yüzeyin düzgünsüzlüğünden dolayı çok değişim göstermediğini fakat filaman ipliklerden mamul kumaşlarda kayma yönünün önemli bir etkisinin olduğunu vurgulamıştır.

Atkı veya çözgü yönünde iplik numarasının değişimi veya havlı yüzeylerde hav yüksekliğinin değişimi yüzey pürüzlülüğünü yöne bağlı olarak değiştirdiği için sürtünme kuvveti değişim gösterir [4].

2.3.2.4 Kızak veya ölçüm ucu malzemesi

Kızak malzemesi veya kızak yüzeyinin kaplı olduğu malzeme sürtünme kuvvetlerini büyük ölçüde değiştirmiştir. Sürtünme deneyleri, araştırmacılar tarafından kumaş ile pürüzsüz metal yüzeyler arasında, kumaş ile kumaş kaplı kızak arasında ve kumaş ile polimer esaslı bir malzeme arasında yapılmıştır.

Kumaş ile polimer esaslı malzeme arasındaki sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı en yüksek, kumaş ile kumaş arasındaki sürtünme kuvveti daha düşük, metal ile kumaş arasındaki sürtünme katsayısı ise en düşük çıkmıştır [7, 8, 21, 23].

2.3.4.5 Yükleme zamanı

Bu konu üzerine yapılmış çok fazla çalışma olmamasına rağmen, plastik malzemeler üzerine yapılan çalışmalarda yükleme zamanının değişimi ile sürtünme katsayısının değiştiği görülmüştür. Kumaşlar, plastikler gibi viskoelastik malzemeler oldukları için kızak ve kumaşın birbiri ile temas süresinin artması sonucu deformasyonun artması ve sürtünme katsayısının değişim göstereceği öngörülmüştür. Deformasyonun artması sonucu da yapış-kay hareketinin genliğinin de artması beklenmektedir [18].

2.3.4.6 Sürtünme ortamı

Tekstil malzemeleri ortamdan, özellikle nemden ve sıcaklıktan kolay etkilenen malzemelerdir. Ortam neminin, kumaş neminin ve insan teninin neminin değişimi, iki yüzey arasındaki sürtünme katsayılarının değişmesine sebep olmuştur.

Hava, su ve yağlı ortamda bulunan sürtünme düzeneğinde yapılan sürtünme deneylerinde, sürtünme katsayısı üzerinde ortamın etkisinin yüksek olduğu görülmüştür [18]

2.4 Kumaşlarda Sürtünmeyi Ölçmek İçin Kullanılan Ölçüm Yöntemleri

Kumaşlarda sürtünme kuvvetini ve katsayılarını hesaplamak için çeşitli cihazlar geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bunlardan en çok bilinenleri aşağıda belirtilen cihazlar ve metotlardır.

2.4.1 Eğik düzlem metodu

Tekstil yüzeylerinde sürtünme deneyleri için hazırlanan ilk ve basit test düzeneği, Shirley kumaş sürtünme test cihazıdır (Şekil 2.7). Bu cihaz Potluri ve arkadaşlarının ifadesi ile birinci nesil test sistemlerindendir [25].

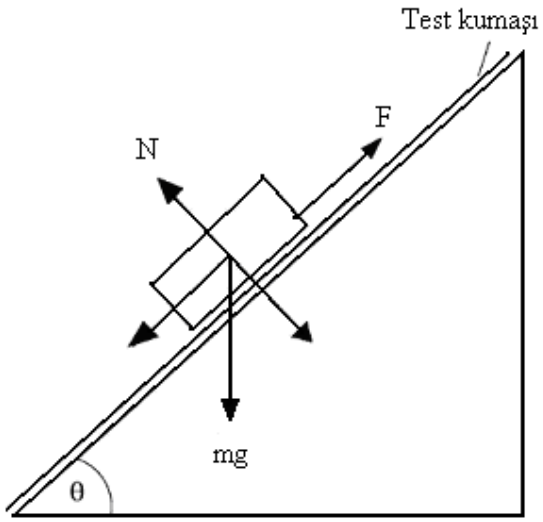


Şekil 2.7: Shirley Kumaş Sürtünme Test Cihazı [26]

Ölçümü yapılacak olan kumaş eğik düzlem üzerine yerleştirilir ve uçlarından tutturulur. Belli ağılıkta dikdörtgenler prizması bir yükün üzeri referans kumaş ile kaplanır. Eğik düzlem düz konumdan derece derece kaldırılır. Bu hareket eğik düzlem üzerindeki kütle hareket edene kadar devam ettirilir. Hareketin başladığı

andaki yükün eğik düzleme paralel olan bileşeni, statik sürtünme kuvvetine eşittir. Bu kuvvetin normal kuvvete oranı ile sürtünme katsayısı bulunur.

Dinamik sürtünme kuvvetini bulmak için kızak belli bir hız ile eğik düzleme koyulur ve kızağın hızının sabit kaldığı açıda okunan yükün eğik düzleme paralel olan bileşeni dinamik sürtünme katsayısına eşittir.



Şekil 2.8: Eğik Düzlemde Kumaş Sürtünme Özelliklerinin Belirlenmesi [27]

Eğik düzlemde sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı aşağıdaki formüllerle elde edilir.

$$F = mg \sin \theta \quad \textbf{(2.3)}$$

F, sürtünmeye karşı direnç kuvveti, m, dikdörtgenler prizmasının kütlesi, g, yerçekimi ivmesini ve θ eğik düzlemin yer ile arasındaki açıyı simgelemektedir.

$$\mu = F / N \quad \textbf{(2.4)}$$

μ, sürtünme katsayısı, F, sürtünmeye karşı direnç kuvveti, N, m kütlesinin dikey kuvvet bileşenine karşı tepki kuvvetidir.

$$N = mg \cos \theta \quad \textbf{(2.5)}$$

N, tepki kuvveti, m prizmanın kütlesi, g, yerçekimi ivmesi, θ eğik düzlemin yer ile arasındaki açıdır.

F ve N değerleri 2.4 numaralı formülde yerlerine koyulduğunda 2.6 ve 2.7 numaralı formüller elde edilir,

$$\mu = mg \sin \theta / mg \cos \theta \quad \textbf{(2.6)}$$

$$\mu = \tan \theta \quad \textbf{(2.7)}$$

2.7 numaralı formülden de görüldüğü gibi sürtünme katsayısı eğik düzlemin yatay zeminle yaptığı açının tanjantına eşittir.

2.4.2 Kızak metodu

Daha çok plastik filmlerin yüzey statik ve kinetik sürtünme katsayılarını ölçmek için geliştirilmiş sürtünme katsayısı ölçerlerinden bir tanesi şekilde gösterilmiştir. Bu cihaz, tekstil malzemelerinde de kullanılabilmektedir [28].

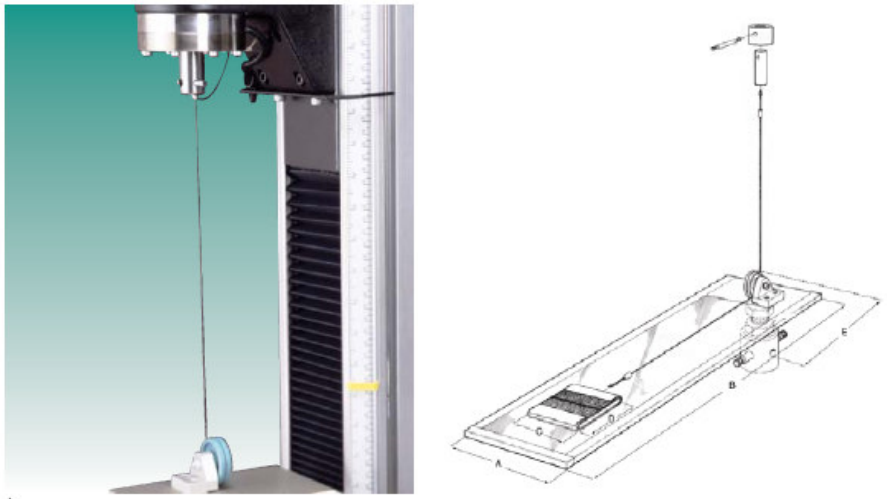


Şekil 2.9: Gardco Sürtünme Katsayısı Ölçeri

Kumaş yüzey sürtünmesini ölçmek için Shirley' in (Şekil 2.7) basit düzeneğinden başka bir düzenek geliştirilmemiştir. Bunun yerine tekstil laboratuarlarında kullanılan mukavemet cihazlarına bazı aparatların eklenmesi ile tekstillerde ve plastik film vb. malzemelerin yüzey sürtünme katsayılarını ölçebilen, yukarıda tanıtılan cihazlardan daha hassas ölçüm yapabilen ve kuvvet – mesafe grafiklerini de veren bir sistem geliştirilmiştir. Instron firmasının ürettiği mukavemet cihazlarına entegre edilebilecek aparatlar firma tarafından üretilmiştir (Şekil 2.10).

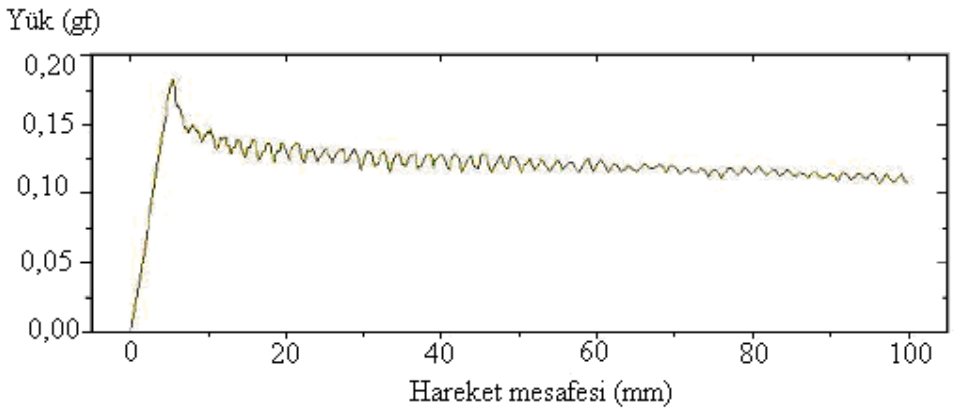
Sistem alt çeneye bir aparatın takılması ile kurulmuştur. Mukavemet cihazının alt çenesi hareketsiz, üst çenesi ise hareketlidir. Aparatın üzerinde, üst çenenin hizasına gelen sürtünmesiz bir makara vardır. Düz platforma ölçümü yapılacak kumaş yerleştirilir ve çift taraflı bant veya kıskaçlar ile kumaş fazla gerilmeden tutturulur.

Ağırlığı ve taban alanı bilinen bir kızağa (metal veya tahtadan yapılmış veya polimer malzeme veya kumaş kaplı) uzamaz bir iplik takılır, makaranın altından geçirilir ve ipliğin diğer ucu mukavemet cihazının üst çenesine takılır. Cihaz istenen bir standarda göre veya istenen bir hızda çalıştırılır ve bilgisayardan yük – mesafe eğrisi elde edilir (Şekil 2.11).



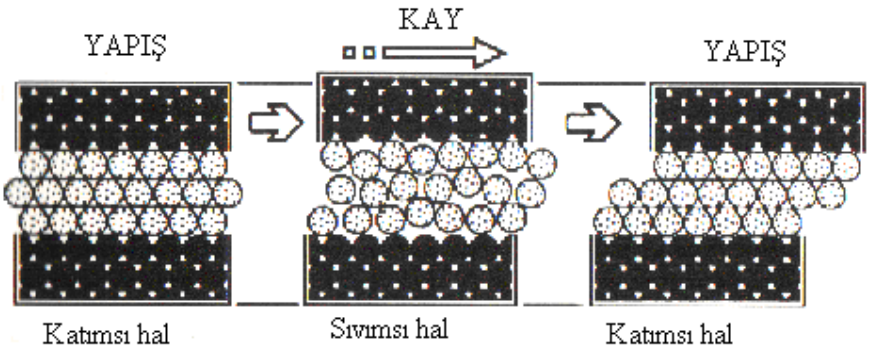
Şekil 2.10: Instron Mukavemet Cihazı Sürtünme Aparatının Görüntüsü [29]

Elde edilen yük – mesafe eğrisinde görülen ilk pik statik sürtünme kuvvetini vermektedir. Okunan bu kuvvetin kızağın ağırlığına oranı ile statik sürtünme katsayısı, ikinci bölgedeki değerlerin ortalamasının kızağın ağırlığına oranı ile dinamik sürtünme katsayısı elde edilir.



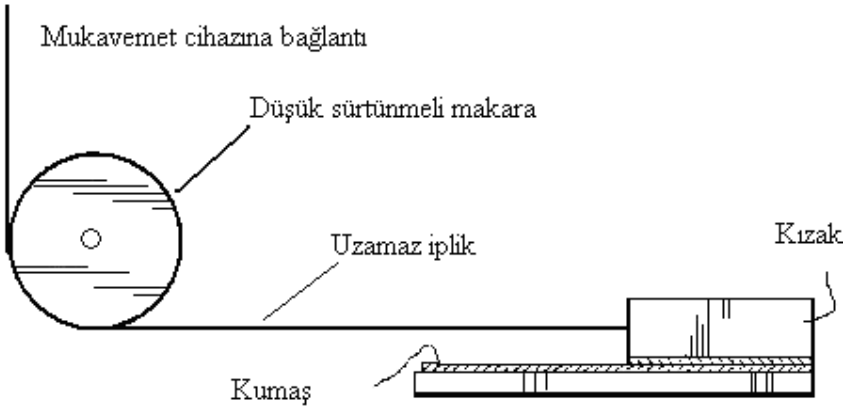
Şekil 2.11: Pamuklu Kort Kumaşların Sürtünme Direnci Grafiği (atkı/atkı) [30]

Kumaşlarda elde edilen yüzey sürtünme grafikleri yapış-kay karakteri göstermektedir. Yapış-kay hareketinin oluşumu şekilde gösterilmiştir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Malzemeler Arasında Yapış - Kay Hareketinin Oluşumu [14]

Ramkumar' ın Malzemelerin Sürtünme Özelliklerini Belirlemek İçin Metot isimli patentinde mukavemet cihazı (Şekil 2.13) kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir [5].



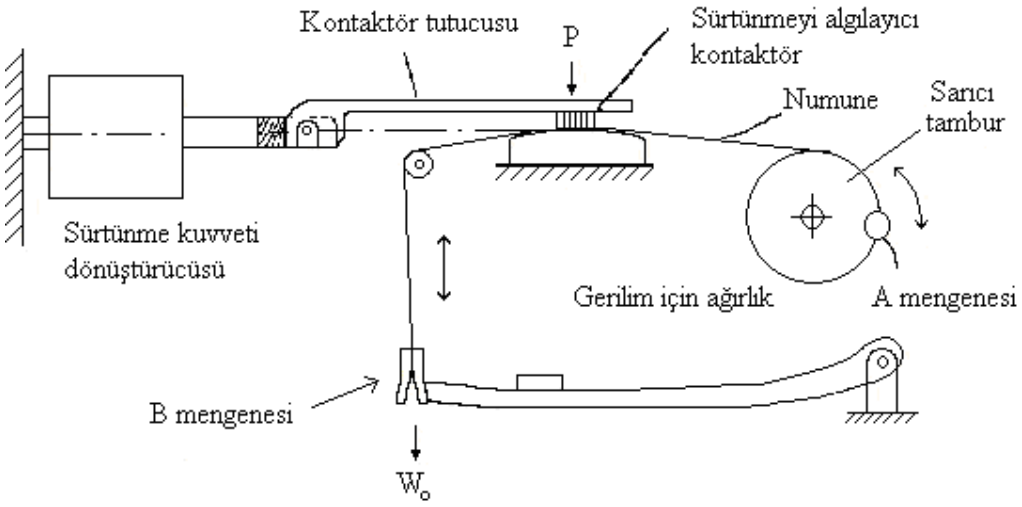
Şekil 2.13: US Patents 6397672' e Göre Kumaşlarda Yüzey Sürtünme Katsayısını Ölçmek İçin Kullanılan Sürtünme Cihazı [5]

2.4.3 Ölçüm ucu metodu

Kumaşlarda yüzey sürtünme kuvveti ve katsayısını ölçmek için kullanılan sistemlerden birisi de ölçüm ucu metodudur. Araştırmacıların bazıları kendi sistemlerini kurmuşlardır ve kendi belirledikleri şartlarda deneyler yapmışlardır.

Ölçüm ucu ile yüzey sürtünme katsayısını ölçen KES-FB4 cihazı Japonya' da kurulan ve dünyaca bilinen HESC (Hand Evaluation Standardization Comittee)

tarafından geliştirilmiş ve birçok üniversite tarafından kullanılan bir sistemdir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14: KES-FB4 Cihazının Şematik Görünümü [31]

KES-FB4 sisteminin kumaş sürtünme özelliklerini ölçen ölçüm ucu, yan yana dizilmiş 10 adet 0.5 mm çapında çelik tellerden oluşmaktadır. Bu pürüzlü yapı, insan eli üzerinde bulunan çizgileri simüle etmek için oluşturulmuştur.

2.5 Sürtünmenin Diğer Kumaş Özellikleriyle İlişkisi

2.5.1 Kumaş tutumu

İngilizce 'fabric hand' tanımı Türkçe literatürde 'kumaş tutumu' olarak kullanılır [32]. The Textile Institute, tutumu tekstil malzemesine dokunmayla alınan hissin sübjektif değerlendirilmesi olarak tanımlar. Bu his ise tekstil malzemesinin, pürüzlülüğü, düzgünlüğü, yüzey sertliği, bükülebilirliği, kalınlığı ve benzeri özelliklerinin sübjektif değerlendirilmesi ile alakalıdır [1].

Kumaş tutumu hakkında ilk çalışmayı ve tanımı yapan Pierce' dır. Pierce'dan sonra en kapsamlı ve geçerli çalışma Dr. Sueo Kawabata tarafından 1980'de yapılmıştır. Kawabata, kumaş tutumunu ölçebilecek ve tutum hakkında gerçekçi sonuçlar verebilecek bir sistem kurmuştur. KES-F (Kawabata Evaluation System for Fabrics) adını verdiği sistemde kumaşa ait birçok özellik ölçülmektedir.

KES-F sistemi dört ölçüm cihazından oluşmaktadır. KES-FB1 cihazı ile kumaşların mukavemet özellikleri, KES-FB2 cihazı ile eğilme, KES-FB3 ile sıkışma ve KES-FB4 ile yüzey özellikleri ölçülmektedir.

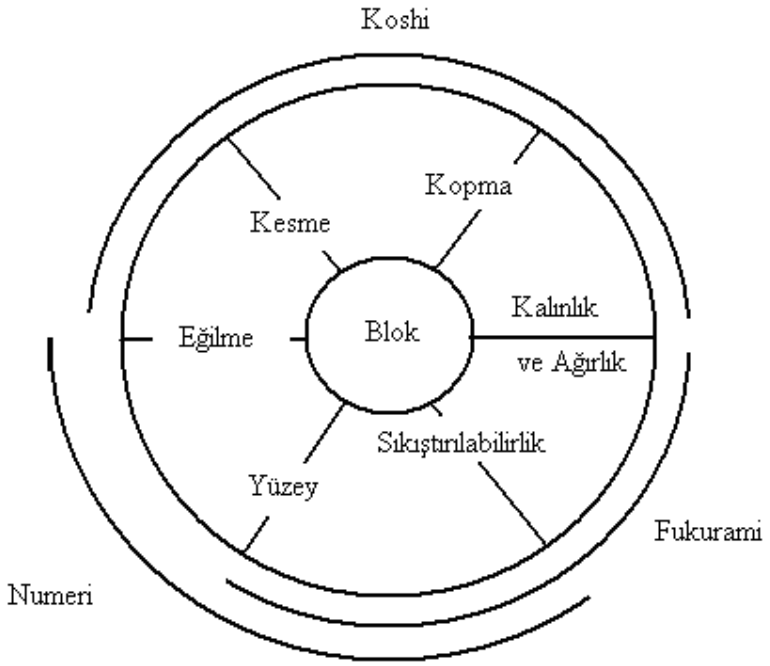
Bu dört cihazdan elde edilen veriler ile önce Birincil Tutum Değerleri (Primary Hand Value) hesaplanır. Birincil Tutum Değerleri 10 üzerinden değerlendirilir ve 10 iyi değer, 1 kötü değerdir. Birincil Tutum Değerleri;

Koshi : Sertlik

Numeri : Pürüzsüzlük

Fukurami : Dolgunluk ve Yumuşaklık

Hari : Dökümsüzlük, sıkılık (sonradan eklenmiştir)



Şekil 2.15: Birincil Tutum Değerlerinin İlişkili Olduğu Mekanik Özellikler [33]

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi kumaş tutumuna en çok etki eden faktörlerden biri yüzey özellikleridir (Şekil 2.15).

Birçok araştırmacı kumaşın sürtünme katsayısı ile pürüzsüzlüğünü ilişkilendirmeye çalışmıştır. Ajayi yaptığı çalışmada düşük sürtünme katsayısına sahip olan

kumaşların daha pürüzsüz olduğunu göstermiştir [20]. Ayrıca araştırmacılar, yüzey statik sürtünme katsayısı ve dinamik sürtünme katsayısı arasındaki fark ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğru orantı elde etmişlerdir. Chen [34], yaptığı çalışmada, süprem örme kumaşların yüzey sürtünme katsayıları ile yumuşaklık arasında yüksek korelasyon olduğunu bulmuştur. Yumuşak ve pürüzsüz kumaşların yüzey sürtünme katsayılarının düşük çıktığı saptanan bulgulardan bir tanesidir.

Kumaş tutumu ve sürtünme katsayısı ile ilgisi olan ve araştırmacıların ilgisini çeken başka bir konu ise konfordur. Bu araştırmalar daha çok üst giyimlerde (gömlek, bluz gibi) yapılmıştır.

Kıyafetlerde konfor özellikleri, giysinin daha çok nem tutuşu, hava geçirgenliği ile alakalıdır. Nemli kumaşın insan teni ile interaksiyonu söz konusu olunca araştırmacılar kumaş ve insan teni arasındaki sürtünmeyi ölçerek konfor hakkında bilgi elde etmeye çalışmışlardır.

2.5.2 Kumaş aşınma dayanımı

Yüzey sürtünme katsayısı düşük olan kumaşların aşınmaya karşı direncinin daha yüksek çıktığı bulunmuştur [18].

Çeşitli kumaşların yüzey sürtünme katsayıları ölçülmüş ve tekrarlı yapılan aşınma dayanımı testleri sonucu yapılan ölçümlerde, kumaşların yüzey sürtünme katsayılarının düştüğü görülmüştür [18].

2.5.3 Kumaş dökümlülüğü

Kumaş yapısı içinde ipliklerinin birbiri üzerinden kayması veya birbirine tutunması kumaş dökümlülüğüne etki etmektedir. Çözgü ve atkı sıklıkları, kesişim noktalarının sayısı, iplik ve elyaf inceliklerinin kumaş dökümlülüğüne etki ettiği görülmüştür [18].

2.5.4 Kumaş sıkıştırılabilirliği

Ajayi [4], kumaşların sıkıştırılabilirliği ve yüzey sürtünme özellikleri üzerine araştırmalar yapmıştır. Kumaşlar arasında daha yüksek sıkıştırılabilirliğe sahip kumaşların statik ve dinamik sürtünme katsayılarının arasındaki fark diğer kumaşlara

göre daha yüksek çıkmıştır. Sıkıştırılabilirlikleri yüksek olan kumaşlar daha yumuşak his vermişlerdir [4, 18].

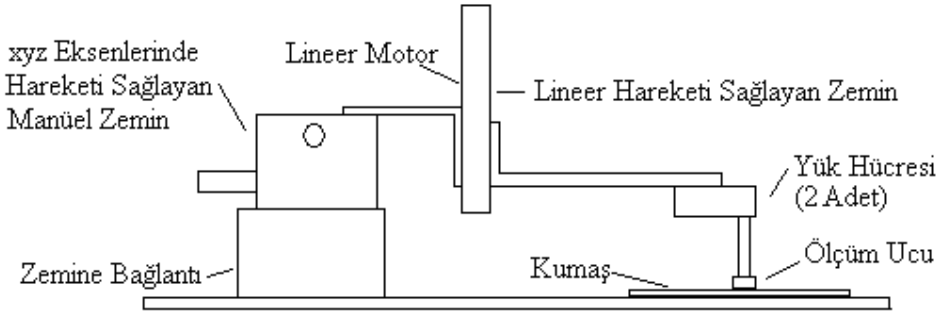
2.5.5 Diğer kumaş özellikleri

Sürtme haslığı, halıların sıkıştırılabilirliği, yünlü kumaşların çekmesi ve dikiş hasarı da kumaş ve iğne arasındaki yüksek sürtünme kuvveti ile ilişkilendirilmiştir [18].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Sürtünme Deney Düzeneği ve Yöntem

Sürtünme düzeneği Şekil 3.1' de gösterilen, hassas hareket kontrolünün yapılabildiği bir düzenektir. Sürtünme, ölçüm ucunun kumaş yüzeyinde hareketi ile sağlanır. Ölçüm ucunun hareketi bilgisayardan kontrol edilir ve deney düzeneğinden alınan veriler bilgisayara aktarılır.



Şekil 3.1: Sürtünme Düzeneğinin Şematik Görünümü

Ölçüm başlarken ölçüm ucu ile kumaş arasında belli bir mesafe vardır. Sürtünme ölçüm cihazının ilk hareketi, ölçüm ucunun kumaş yüzeyine dikey olarak yaklaşmasıdır. Burada ölçüm ucu, kumaşa dokunur ve daha önceden belirlenen maksimum ön kuvvet değerine ulaştığında dikey eksendeki hareketi durdurur. Ölçüm ucu, daha sonra bekleme yapmadan yatay harekete başlar. Kumaş yüzeyindeki yatay hareket belirlenen bir süre boyunca devam eder ve ölçüm süresi dolduğunda cihaz durur ve üçüncü hareket başlar. Üçüncü hareket, ölçüm ucunun kumaş yüzeyinden dikey olarak geri çekilmesidir.

İlk harekete başlanmasından itibaren yük hücrelerinden okunan değerler bilgisayara aktarılır. Toplamda iki adet yük hücresi vardır; bunların birincisi dikey eksende normal tepki kuvvetini ölçer, ikincisi yatay eksende sürtünme kuvvetini ölçer. Değerler çok kısa zaman aralıklarında, yaklaşık her milisaniyede bir alınmış kuvvet değerleridir. Bu verileri daha iyi inceleyebilmek için, daha sonra kumaşların

sürtünme ölçümlerine ait kuvvet-zaman grafikleri elde edilmiştir. Verilerin grafik haline dönüştürülme işlemi MATLAB' de (Matrix Laboratory) program yazılarak yapılmıştır.

3.1.1 Sürtünme deney düzeneği işlem parametrelerinin belirlenmesi

Tekstil yüzeylerinde, yüzey sürtünme katsayılarını ölçmek için oluşturulmuş bir standart bulunmadığı için, bu çalışmada kullanılan cihazın çalışma koşulları literatür taraması yapılarak ve ön deneyler yaparak belirlenmiştir. Deney düzeneğinde kullanılacak ayarların seçilmesi için yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu Tablo 3.1' de özetlenen çalışma koşulları belirlenmiştir.

Tablo 3.1: Sürtünme Cihazı Çalışma Koşulları

Cihaz	Özellikler
Ölçüm ucu	Cam
Ölçüm ucu çapı	12 mm
Ölçüm ucu profili	Düz, pürüzsüz
Ölçüm ucu hızı	0,5 mm/sn yatay ve dikey
Ön kuvvet	10, 50, 100, 200 mN
Ölçüm yönü	Atkı ve çözgü yönünde tek gidiş
Ölçüm mesafesi	4 mm
Toplam ölçüm süresi	12 sn

3.1.1.1 Ölçüm ucu malzemesi

Kumaşlarda yüzey sürtünmesini incelemek için yapılan çalışmalarda çeşitli ölçüm teknikleri kullanılmıştır. Belirli yükte bir kızağın kumaş üzerinden sabit hızda çekilmesine yönelik test düzeneğinde, tahta kızak, metal kızak, üzeri kumaş kaplı kızak, suni deri ile kaplı kızak, temas yüzeyi polimer olan kızak, polimerden insan parmağının kalıbı çıkartılarak elde edilen polimer uç [23] gibi malzemeler kullanılmıştır.

Ölçüm ucu benzeri ölçüm sistemlerinde ise 12 mm çapında alüminyum üzeri kumaş kaplı ölçüm ucu [24], 28,5 mm çapında üzeri kumaş kaplı ölçüm ucu [6], KES-F

sisteminde 10 piyano telinin yan yana gelmesinden oluşan ölçüm ucu [31] bulunmaktadır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde çok çeşitli ölçüm ucu ve kızak çeşitlerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, metal ölçüm ucu – kumaş veya metal kızak - kumaş sürtünmesi düzeneklerinde sürtünme katsayıları 0,10 – 0,25 değerleri arasında çıkmıştır. Kumaş – kumaş sürtünmesinin incelendiği düzeneklerde ise kızak veya ölçüm ucu üzerinde kumaşın kendisinden bir parça kullanılmıştır, deneylerde kumaşlara ait sürtünme katsayıları 0,5 – 1,00 değerleri arasında çıkmıştır [24]. Kumaş – polimer yüzey arası sürtünme katsayıları da kumaş-kumaş sürtünme deneylerinde olduğu gibi yüksek çıkmıştır. Kumaş – kumaş arası sürtünme kuvvetleri daha yüksek ve ayırt edici iken [24], tekrarlanabilirlikleri ve değerlerin karşılaştırılabilirlikleri düşüktür. Metal – kumaş arası sürtünme ölçümleri düşük [7], birbirine yakın ve ayırt ediciliği kumaş-kumaş sürtünme ölçüm sistemlerine göre daha düşüktür fakat deneyin tekrarlanabilirliği ve standart bit metot geliştirmek açısından uygundur.

Yukarıdaki sonuçlara bakılarak düzenekte kullanılacak ölçüm ucunun üzerinin herhangi başka bir malzeme ile kaplı olmaması ve camdan olmasının deneyin tekrarlanabilirliği açısından daha uygun olacağı öngörülmüştür, sürtünme ölçüm cihazı bu şekilde dizayn edilmiştir.

3.1.1.2 Ölçüm ucu çapı

Sürtünme ölçüm cihazında birbirinden farklı çaplarda ölçüm uçları kullanılabilmektedir. Bu cihaza entegre edilebilir ölçüm uçları arasında 1 mm ve daha küçük çapta olan ölçüm uçları bulunmaktadır. Fakat bu kadar küçük ölçüm uçlarının kumaş yüzeyinde sürtünme kuvvetlerini ölçmekten çok kumaş yapısı içine, ipliklerin arasına dalması söz konusudur.

Ölçüm ucu çapı, ölçümü yapılacak malzemenin cinsine göre belirlenmelidir. Bu deneyde kullanılan malzeme bir tekstil malzemesi olduğu için, ölçüm ucunun kumaş içine batmayacak ve yüzeydeki iplik kesişim noktalarından kaynaklanan girinti ve çıkıntılardan etkilenmeyecek büyüklükte olması gerekmektedir.

Bu konu üzerinde yapılan çalışmalar incelenmiş ve ölçüm ucu çapının 12 mm olması öngörülmüştür.

3.1.1.3 Ölçüm ucu profili

KES-F sisteminde, 0,5 mm çapında 10 adet piyano telinin yan yana gelmesi ile oluşan ölçüm ucu kullanılır, bu ölçüm ucunun yüzeyindeki girinti-çıkıntılı yüzey profili ile insan parmağının üzerindeki çizgiler modellenmek istenmiştir [31].

Küresel uçlu, küçük çaplı ölçüm uçlarının kumaş yapısının içine girebileceği, artan ön yükleme ile temas alanının değişmesi, ölçümlerde çok fazla değişime sebep teşkil edebilir.

Bu deneyde kullanılacak olan ölçüm ucunun silindirik, uç profilinin ise düz ve pürüzsüz olması öngörülmüştür.

3.1.1.4 Ölçüm ucu hızı

Kumaşlarda, yüzey sürtünme katsayısının ölçüldüğü çalışmalarda ölçüm hızının değişimi ile sürtünme katsayılarında ufak değişimler gözlenmiştir. Ajayi' nin çalışmasında hız ile sürtünme katsayıları arasında belirgin bir bağıntı kurulamamıştır, ancak bazı sürtünme özelliklerinin; statik ve kinetik sürtünme kuvvetleri arasındaki fark ($F_s - F_k$), sürtünme kuvveti-zaman grafiğinde oluşan yapış-kay hareketindeki sürtünme genliği ve pik sayısı değerlerinde hızın artması ile düşme görülmektedir.

KES-F sisteminde 6 cm/dk hızında sürtünme ölçümleri alınır, diğer birçok çalışmada da bu hız değeri civarında ölçümler alınmıştır, ancak bazı çalışmalarda farklı hızlar kullanılmıştır. Ramkumar 50 cm/dk hızında ölçüm yaparken [8], Bertaux [6] insan elinin kumaş yüzeyindeki gezinme hızını ve mesafeyi hesaplayarak 12 mm üzerinde 45 dev/dak frekans ile ortalama 108 cm/dk hızda çalışmıştır.

Sürtünme cihazı için belirlenen çalışma hızı, KES-F sisteminde kullanılan hız değerine yakın bir değer olan 0,5 mm/s, yani 3 cm/dk' dır.

3.1.1.5 Ön yükleme kuvveti

Sürtünme katsayısının hesaplanması için, sürtünme ölçüm cihazında ölçüm ucunun belli bir ön kuvvet ile ölçümü yapılacak malzemeye dokunması gerekir. Bu ön kuvvete karşılık malzemede normal tepki kuvveti oluşur.

İki metal arası sürtünme katsayısı, normal kuvvetin değişimi ile belirgin bir değişim göstermezken, tekstil malzemeleri ve plastik malzemeler düşük kuvvetler altında bile deformasyona uğramışlardır ve buna bağlı olarak sürtünme katsayılarında değişim gözlenmiştir. Bu değişim tekstil malzemelerinin viskoelastik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki kumaşlarda sabit alanda yük değişimi, yani basıncın değişimi ile sürtünme katsayısı değişmektedir.

Kumaşlarda yüzey sürtünme katsayısını ölçmek için yapılan çalışmalarda çok değişik basınçlarda deneyler yapılmıştır. Bazı araştırmacılar 2-5 cN/cm^2 basınçlar arasında ölçüm alırken, bazı çalışmacılar 50 cN/cm^2 ve daha üzeri basınçlar altında ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Bertaux [6], deney düzeneğini kurarken insan elinin kumaş üzerinde yaptığı minimum ve maksimum basınç değerlerini ölçmüş ve bu değerlerin 15 cN/cm^2 ve 145 cN/cm^2 arasında değiştiğini görmüştür. Ortalama basınç ise 50 cN/cm^2 olduğunu hesaplamış, deney düzeneğini de bu verilere göre kurmuştur.

KES-F sistemindeki sürtünme ölçüm cihazında ön yükleme değeri 50 gramdır, bu değer ölçüm ucu üzerinde 200 cN/cm^2 basına tekabül eder.

Tüm bu çalışmalardaki basınçlar incelenmiş, 4 farklı kuvvet altında çalışma yapılmasına karar verilmiştir. Bu kuvvetler 10 mN, 50 mN, 100 mN ve 200 mN' dur. Bu kuvvetler karşılık gelen basınç değerleri ise 8,84 mN/cm^2, 44,21 mN/cm^2, 88,42 mN/cm^2 ve 176,84 mN/cm^2 basınca karşılık gelmektedir.

Bu kuvvetler altında ölçümler alınmış ve hem sürtünme ölçüm cihazı için uygun olan ön yük değeri belirlenmiş hem de Wilson sürtünme modelindeki (2.2) denklem kullanılarak her bir kumaşa ait Wilson denklemleri elde edilmiştir.

3.1.1.6 Ölçüm yönü

Ölçümü yapılacak malzeme burada tekstil dış giyimlik kumaşlar olduğu için yöne bağlı olarak sürtünme katsayıları ve elde edilen grafiklerin değişik özellikler gösterebildiği bilinmektedir.

Daha önce yapılan çalışmalarda, kumaş – kumaş, kumaş - metal sürtünmesi ve kumaş – polimer esaslı malzeme arasında sürtünme katsayıları incelenmiştir. Kumaş – kumaş sürtünme deneyleri incelendiğinde sıklıkların ve iplik numaralarının değişimi ile sürtünme katsayılarının ve diğer bazı sürtünme özelliklerinin atkı ve çözgü yönünde değişim gösterdiği gözlenmiştir. Das [7], kumaş – metal sürtünme ölçüm sisteminde yüzey sürtünme katsayılarını ölçmüş, sürtünme katsayısının atkı ve çözgü yönünde çok değişim göstermediğini gömüştür. Bunun sebebini ise metal ile kumaşın birbiriyle fazla etkileşime girmeyişi ile açıklamıştır.

Şimdiye kadar birçok araştırmacının incelediği gibi, kumaşların atkı yönü ve çözgü yönü boyunca sürtünme özelliklerinin incelenmesi planlanmıştır. Ölçüm alınacak mesafe ise 4 mm olarak belirlenmiştir. Hareket, tek yönde ileri hareket olarak belirlenmiştir.

3.2 Malzeme

Deneylerde kullanılan kumaşlar konstrüksiyon özellikleri bakımından farklılıklara sahip yün polyester karışımlı, kışlık dış giyimlik dokuma kumaşlardır. Kumaş bileşimi % 70 yün, % 30 polyesterdir. Kumaşlarda kullanılan atkı ve çözgü iplikleri 850 tur/m bükümlü, Ne 22,5 numaralı ipliklerdir.

Çalışma kapsamında kullanılan kumaşlar için yukarıda sayılan özellikler sabit olup, değişen özellikler kumaşın örgü tipi ve atkı sıklıklarıdır.

Objektif bir ölçümün olması için kumaşlar dokumadan sonra üzerlerindeki fazla yağ ve yabancı maddelerin uzaklaştırılması için fabrikada aynı şartlar altında yıkamaya tabi tutulmuştur.

Malzemenin genel fiziksel özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak için İTÜ Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi Tekstil Araştırma ve Konfeksiyon Kalite Kontrol

Fizik Laboratuarında atkı sıklık, çözgü sıklık, gramaj, kumaş kalınlığı testleri yapılmıştır. Kumaşların ayrıntılı özellikleri aşağıdaki tabloda (Tablo 3.2 ve Tablo 3.3) verilmiştir. Kumaşların örgü tipi Şekil 3.4 ve Şekil 3.5' te ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

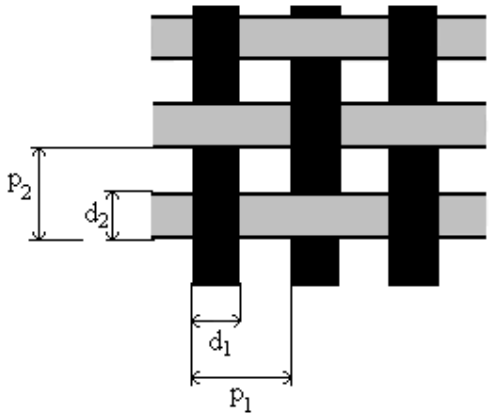
Tablo 3.2: Kumaşlarda Değişen Yapısal Özellikler

Desen	Çözgü sıklık (tel/cm)	Atkı sıklık (tel/cm)	Toplam örtü faktörü (%)	Bağlantı sayısı (adet/mm^2)
KD 2/1	32	25	79,4	5,33
	32	28	81,6	5,97
	32	31	83,9	6,61
KD 2/2	35	25	82,4	4,38
	35	28	84,3	4,90
	35	31	86,2	5,43

Toplam örtü faktörü, bir kumaşın, bir yüzeyin yüzde kaçını kapatabildiğidir. Toplam örtü faktörünü hesaplamak için atkı ve çözgü ipliklerinin numaraları ile iplik çapları hesaplanmıştır. Pierce' ın iplik çapı formülü kullanılmıştır.

$$d = \frac{1}{28\sqrt{Ne}} * 2{,}54 = (\text{cm}) \qquad \textbf{(3.1)}$$

d, iplik çapı, Ne ipliğin İngiliz sistemi numarasıdır. Bu formül kullanılarak iplik numarası Ne 22.5 olan ipliğin çapı 0,19 mm olarak hesaplanmıştır.



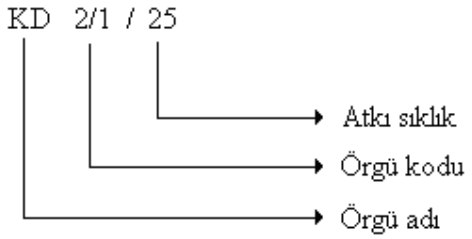
Şekil 3.2: Örtü Faktörünün Hesaplanması İçin Kullanılan Değerlerin Dokuma Kumaş Yapısı Üzerinde Gösterimi

$$c_1 = d_1 / p_1 \qquad \textbf{(3.2)}$$

$$c_2 = d_2 / p_2 \quad \textbf{(3.3)}$$

$$c = c_1 + c_2 - c_1 * c_2 \quad \textbf{(3.4)}$$

d iplik çapı (cm), p iplikler arasındaki açıklıktır (1/sıklık). 1 alt indisi çözgü yönünü 2 alt indisi atkı yönünü göstermek üzere; c_1 çözgü yönünde kısmi örtü faktörü iken c_2 atkı yönünde olan kısmi örtü faktörüdür. c ise kumaştaki toplam örtü faktörüdür.



Şekil 3.3: Deney Kumaşlarının Kodlanma Şekli

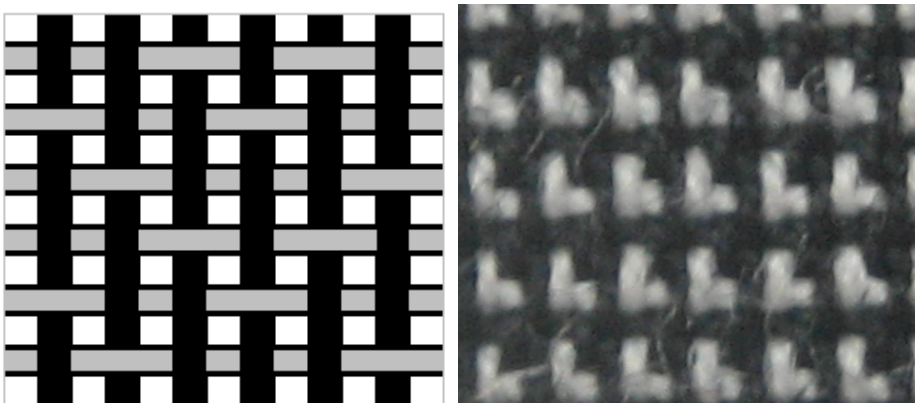
Kumaşlar yukarıdaki şekildeki gibi kodlanmıştır. Buna göre KD2/1/25 kumaşı Kırık dimi 2/1 deseninde 25 atkı sıklığında dokunmuş kumaşı simgelemektedir.

Tablo 3.3: Deney Kumaşlarına Ait Fiziksel Özellikler

Kumaş kodu	Gramaj (g/m^2)	Kalınlık (mm)
KD2/1/25	165,8	0,50
KD2/1/28	175,0	0,52
KD2/1/31	183,3	0,54
KD2/2/25	181,0	0,66
KD2/2/28	189,0	0,66
KD2/2/31	197,1	0,64

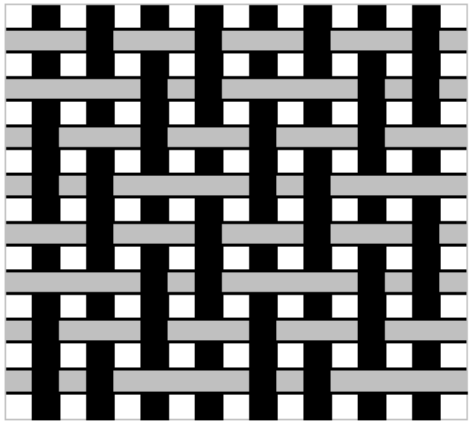
Kumaşların gramaj tespiti için TS 251 Dokunmuş Kumaşlar - Birim Uzunluk ve Birim Alan Kütlesinin Tayini [35] standardına uygun ölçümler yapılmıştır. Gramaj alma aleti ile kumaşın 3 yerinden parça alınmıştır. Kesilen parçaların yüzey alanı 100 cm^2 'dir. Kesilen kumaş parçaları tartılmış ve okunan ağırlık daha sonra g/m^2 ye çevrilerek kumaşların metrekare ağırlığı bulunmuştur.

Kumaşların kalınlık testleri TS 7128 EN ISO 5084 [36] standardına uyularak, James H. Heal marka kalınlık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçümler için makine basıncı 10 g/cm^2 olarak ayarlanmıştır. Her kumaş için 3 ölçüm alınmış ve bunların ortalama değerleri o kumaşa ait kalınlık değeri olarak tabloda verilmiştir.



(a) **(b)**

Şekil 3.4: Kırık Dimi 2/1 Örgüsünün İki Boyutlu Gösterimi (a) ve Bu Örgüdeki Kumaşın Fotoğrafı (b)



Şekil 3.5: Kırık Dimi 2/2 Örgüsünün İki Boyutlu Gösterimi

3.3 Sonuçlar

Bu çalışmada 3 farklı atkı sıklığında Kırık dimi 2/1 (KD 2/1) ve 3 farklı atkı sıklığında Kırık dimi 2/2 (KD 2/2) kumaşlara yüzey sürtünme deneyleri yapılmıştır. Deneyler 10 mN, 50 mN, 100 mN ve 200 mN ön yükleme kuvveti altında gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak, kumaşlara ait farklı ön yükleme kuvvetleri altında elde edilen sürtünme katsayılarının, standart sapma değerlerinin, F ve N kuvvetlerinin değişimi incelenmiştir. Her bir kumaşa ait sürtünme katsayısı eğrileri şekiller üzerinde gösterilmiştir. Sürtünme ölçüm cihazı için uygun ön yükleme kuvveti araştırılmıştır. Bu bölümde uygun ön yükleme kuvvetinin 200 mN olduğu görülmüştür.

İkinci bölümde, 200 mN ön yükleme kuvveti altında sürtünme katsayısına atkı sıklıklarının, örgü tipinin, ölçüm yönünün etkisi incelenmiştir.

Üçüncü bölüm olan istatistiksel analiz kısmında kumaşların sürtünme katsayısına, atkı sıklıklarının, örtü faktörünün ve normal tepki kuvvetinin etkisi incelenmiştir.

En son bölümde sürtünme deney sonuçlarının Wilson modeli ile uyumu incelenmiştir.

3.3.1 Aynı Desende Farklı Atkı Sıklıklara Sahip Kumaşların Farklı Ön Yükleme Kuvvetleri Altında Sürtünme Katsayılarının İrdelenmesi

Sürtünme ölçüm cihazından alınan sürtünme ve normal tepki kuvveti değerleri bilgisayara aktarılmış, bu değerleri anlaşılır bir şekilde grafiğe dönüştürebilmek için MATLAB kullanılarak program yazılmış ve sonuçlar grafik haline çevrilmiştir.

Yazılan MATLAB programı ile bir kumaşa ait kuvvet ve sürtünme katsayısı grafikleri elde edilmiştir. Birinci grafik, kumaşa uygulanan ön kuvvete karşılık ölçülen sürtünme kuvveti ve normal tepki kuvvetinin birlikte gösterildiği grafiktir.

İkinci grafik, sürtünme katsayısı-zaman grafiğidir. Bu grafikte sürtünme katsayısının zaman içinde değişimi ve sürtünme katsayısının ortalama değeri gösterilmiştir. Sürtünme katsayısı, birinci grafikte elde edilen sürtünme kuvvetinin ve normal tepki kuvvetine oranlanması ile elde edilir.

Sürtünme hareketine başlangıç ve bitiş esnasında okunan sürtünme kuvveti ve normal kuvvet değerleri çok değişim gösterdiği için bu bölgede hesaplanan sürtünme katsayıları da çok değişim göstermiştir. Kumaşlar arası karşılaştırma yapabilmek için sürtünme katsayısının düzgün akış gösterdiği, kinetik bölgedeki sürtünme katsayısı değerlerinin alınmasına karar verilmiştir. Sadece düzgün akışın görüldüğü 1500 ms ve 5000 ms zaman aralığındaki sürtünme değerleri incelenmiştir.

Bütün kumaşlara ait sürtünme katsayısı-zaman grafikleri elde edilmiştir. Atkı sıklıklarının değişimi ile sürtünme katsayısının değişiminin daha iyi gözlenebilmesi için aynı örgüde, farklı atkı sıklıklarında dokunmuş kumaşların sürtünme katsayısı eğrileri aynı grafik üzerinde (Şekil 3.6-3.13) karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Sürtünme katsayılarının zaman içinde değişimini gözlemlemek için grafiksel gösterim tercih edilmiştir.

Kumaşlara ait sürtünme katsayısı zaman grafiklerinde genel olarak düzgün akışa geçildikten sonraki değerler alınmış fakat bazı grafiklerde bu süre toplam 3000 ms iken bazı grafiklerde 3500 ms olmuştur. Sürtünme kuvvetlerinin ortalamaları kumaşların karşılaştırılmalı olarak verildiği grafiklerde verilmemiş, ayrı bir tabloda toplu olarak gösterilmiştir (Tablo 3.8).

Sürtünme katsayısı grafiklerinde x ekseni zaman eksenidir ve birimi milisaniyedir, y ekseni ise sürtünme katsayısını gösterir ve birimsizdir. Grafik başlıklarının açılımı ise örneğin "KD2/1 atki 10 mN" başlığı, kırık dimi 2/1 desenli kumaşların atkı yönünde 10 mN ön kuvvet altında yapılan ölçümlerini göstermektedir.

Grafik üzerindeki göstergelerde kumaş kodları belirtilmiş ve her bir eğrinin hangi kumaşa ait olduğu belirtilmiştir. Buna göre "kd2/1/28a" kodu 28 atkı sıklığında dokunmuş kırık dimi 2/1 kumaşının atkı yönündeki sürtünme katsayısını gösterir.

3.3.1.1 10 mN ön yükleme kuvveti

Uygulanan 10 mN ön yükleme kuvveti, kullanılan ölçüm ucu üzerinde 8,84 mN/cm^2 basınca karşılık gelmektedir.

KD 2/1 kumaşlarına ait atkı yönünde sürtünme katsayılarının zaman ile değişim grafikleri incelendiğinde atkı sıklığının artışı ile sürtünme katsayısının artışı net bir şekilde gözlenememektedir (Şekil 3.6). KD 2/1 kumaşları için çözgü yönünde sürtünme katsayılarının standart sapmaları, atkı yönünde çıkan standart sapmalardan çok daha yüksektir. KD2/1/25 kumaşının çözgü yönünde sürtünme katsayısı Tablo 3.4' te de görüldüğü gibi 0,2048 iken, standart sapma değeri 0,0601' dir. Bu standart sapma değeri, ortalamadan yaklaşık % 30' luk bir sapma olduğunu gösterir. Bu değişim, 10 mN ön yükleme kuvvetinin sürtünme ölçüm cihazı için uygun bir yük olmadığını göstermektedir.

KD 2/2 kumaşların genel olarak sürtünme katsayıları, standart sapmaları KD 2/1 kumaşlara göre daha düşük çıkmıştır (Tablo 3.4). KD 2/2 kumaşlarda çözgü yönünde atkı sıklığının artışı ile sürtünme kuvvetinin artışı grafikte gözlenebilmektedir (Şekil 3.7).

Tüm kumaşlar için 10 mN ön yükleme kuvveti altında standart sapmaların yüksek oluşu ve sürtünme katsayılarının arasındaki büyük farkların sebebi ayrıntılı araştırılmıştır. Tekstil malzemelerinin viskoelastik özelliklerinin sürtünme katsayılarının değişimine sebep olduğu görülmüştür. Bu değişimin daha iyi açıklanabilmesi için sürtünme cihazında verilen ön gerilime karşılık ölçülen normal tepki kuvveti ve sürtünme kuvvetlerinin ortalaması MATLAB' de hesaplanmış ve tabloda (Tablo 3.4) verilmiştir.

Tablo 3.4: 10 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Ölçülen Sürtünme Katsayısı (μ), Standart Sapma (Std. s.), Normal Tepki Kuvveti (N), Sürtünme Kuvveti (F)

		Sürtünme Değerleri			
Kumaş kodu	Ölçüm yönü	μ	Std. s.	F	N
KD2/1/25	Çözgü	0,2048	0,0601	0,6498	5,3201
KD2/1/28	Çözgü	0,1530	0,0127	1,2116	8,0343
KD2/1/31	Çözgü	0,2245	0,0595	1,0419	4,8776
KD2/1/25	Atkı	0,1363	0,0261	1,2424	8,9874
KD2/1/28	Atkı	0,1732	0,0359	0,3974	2,4228
KD2/1/31	Atkı	0,1746	0,0284	1,1389	6,4856
KD2/2/25	Çözgü	0,1232	0,0256	0,7561	5,7015
KD2/2/28	Çözgü	0,1233	0,0212	0,3736	3,3224
KD2/2/31	Çözgü	0,1800	0,0481	0,7261	4,6400
KD2/2/25	Atkı	0,1588	0,0366	1,1862	8,4532
KD2/2/28	Atkı	0,1308	0,0240	0,7408	5,9820
KD2/2/31	Atkı	0,1239	0,0098	1,0799	8,6909

Kullanılan sürtünme cihazında, ölçüm ucu kumaşa belirlenen ön kuvvete ulaşıncaya kadar bastırmış ve kumaşların kolay sıkıştırılabilir özelliğinden dolayı kumaşta bir miktar çökme ve ezilme gerçekleşmiştir. Kumaşın burada bir yay gibi davrandığı varsayılır ve uygulanan ön kuvvete karşılık kumaşta sıkışma gerçekleşir.

$$F = -kx \qquad \textbf{(3.5)}$$

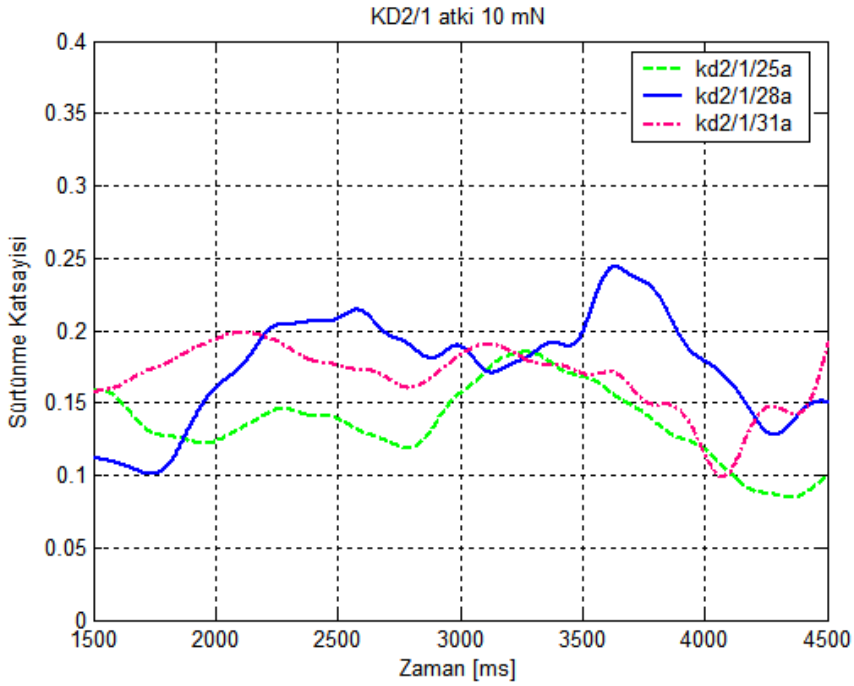
F yayda depolanan kuvvet olmak üzere, k yaya ait katsayı ve x referans konumdan değişim mesafesidir.

Uygulanan ön kuvvetin bir kısmı, yüzeydeki lifleri bastırmak için harcanmış ve uygulanan kuvvetin hepsi kumaşa iletilememiş ve dolayısıyla tepki kuvvetinin verilen ön kuvvetten düşük çıkmasına ve farklı kumaşlarda farklı tepki kuvvetlerinin çıkmasına sebep olmuştur.

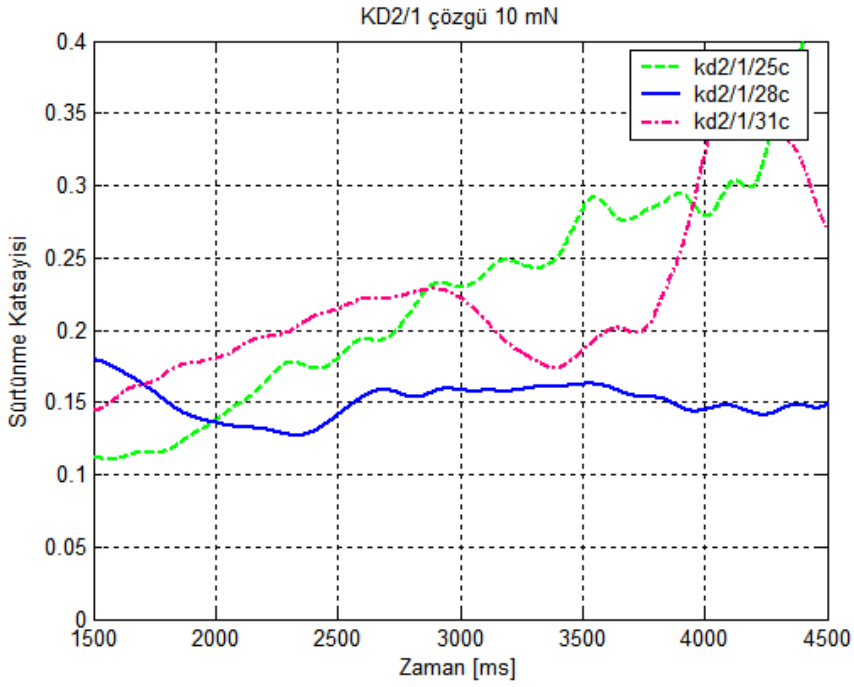
10 mN uygulanan ön kuvvet sonucu ölçümlerde çıkan sürtünme katsayıları 50, 100 ve 200 mN altında alınan ölçümlere göre yüksek çıkmıştır. Hacimli tekstil dokusunun bu kuvvet altında yeterince ezilemeyişi ve yüzeydeki liflerin çoğunun ölçüm ucu ile teması, sürtünme kuvvetinin ve dolayısıyla sürtünme katsayısının yüksek çıkmasına sebep olmuştur.

Bütün kumaşlar için ölçülen normal kuvvetlerin ortalaması 6,08 mN çıkmıştır ve standart sapması 2,13 çıkmıştır. Bu değerler, kumaşlar arası bir değerlendirme yapılamayışını açıklamaya yardımcı olmaktadır.

Sonuçlardan, 10 mN ön yükleme kuvveti altında kumaşlar arası değerlendirme yapılamayacağı ortaya çıkmıştır.

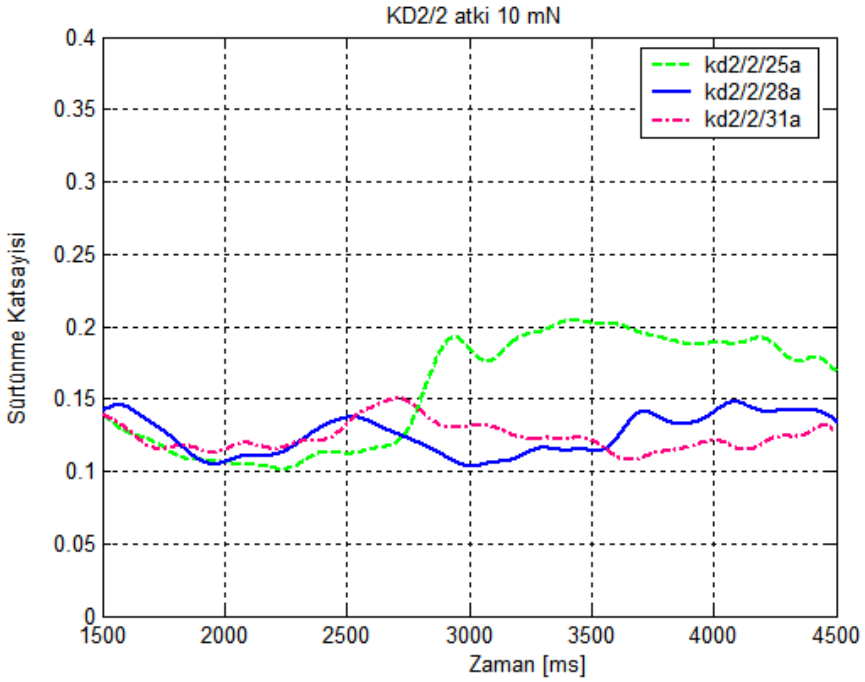


(a)

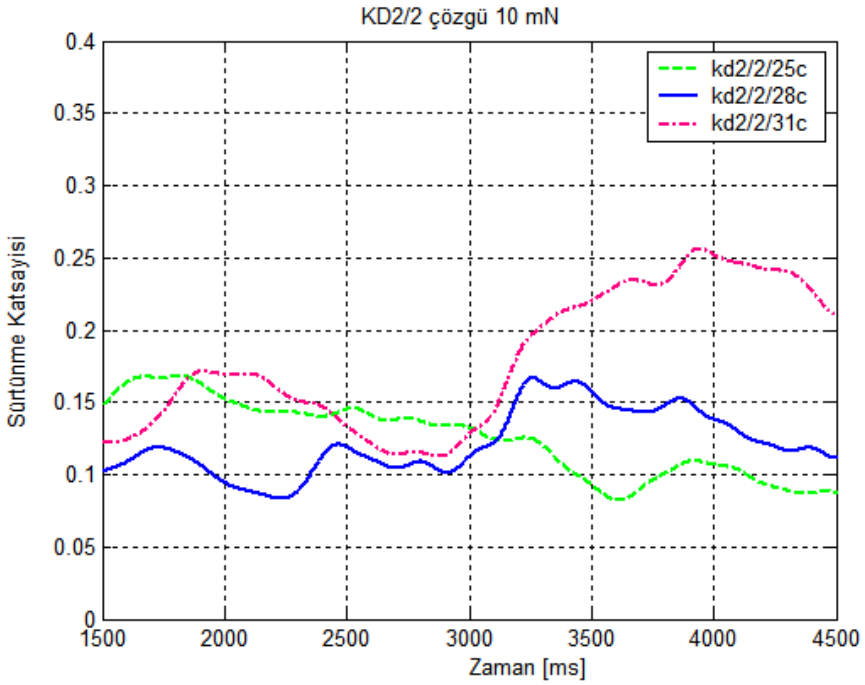


(b)

Şekil 3.6: KD 2/1 Örgüsünde, 25, 28 ve 31 Atkı Sıklıklarında Dokunmuş Kumaşların Atkı (a) ve Çözgü (b) Yönünde 10 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Ölçülen Sürtünme Katsayısı Eğrilerinin Karşılaştırılması



(a)



(b)

Şekil 3.7: KD 2/2 Örgüsünde, 25, 28 ve 31 Atkı Sıklıklarında Dokunmuş Kumaşların Atkı (a) ve Çözgü (b) Yönünde 10 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Ölçülen Sürtünme Katsayısı Eğrilerinin Karşılaştırılması

3.3.1.2 50 mN ön yükleme kuvveti

Uygulanan 50 mN ön yükleme kuvveti, kullanılan ölçüm ucu üzerinde 44,21 mN/cm^2 basınca karşılık gelmektedir.

Tablo 3.5: 50 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Ölçülen Sürtünme Katsayısı (μ), Standart Sapma (Std. s.), Normal Tepki Kuvveti (N), Sürtünme Kuvveti (F)

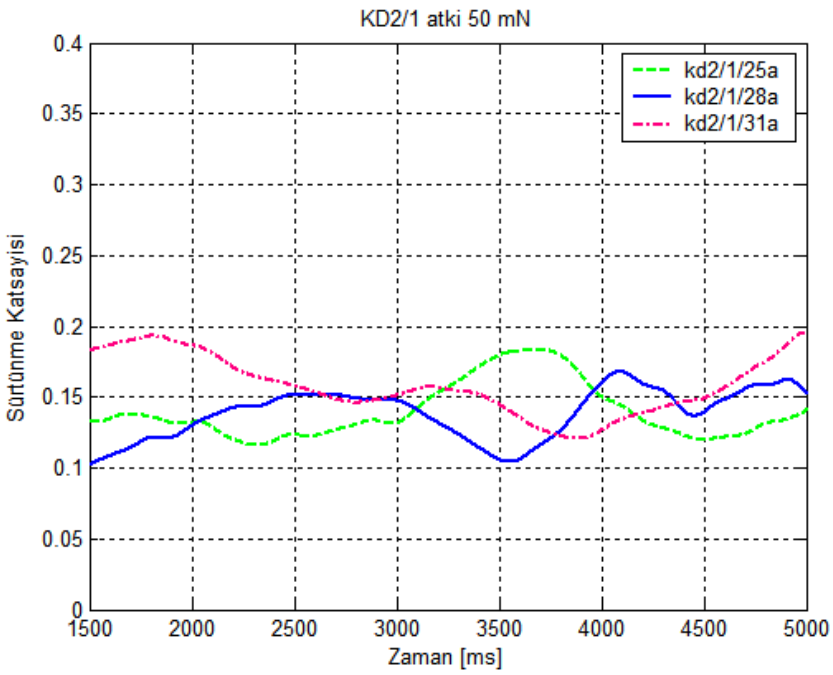
		Sürtünme Değerleri			
Kumaş kodu	Ölçüm yönü	μ	Std. s.	F	N
KD2/1/25	Çözgü	0,1284	0,0197	2,8191	22,9805
KD2/1/28	Çözgü	0,1518	0,0101	5,6949	37,4053
KD2/1/31	Çözgü	0,1729	0,0133	5,5697	32,7079
KD2/1/25	Atkı	0,1397	0,0196	4,8964	35,3782
KD2/1/28	Atkı	0,1386	0,0176	2,9567	21,9403
KD2/1/31	Atkı	0,1575	0,0207	6,8890	43,1370
KD2/2/25	Çözgü	0,1183	0,0065	3,9280	33,0922
KD2/2/28	Çözgü	0,1086	0,0183	2,6693	25,9461
KD2/2/31	Çözgü	0,1315	0,0183	3,7571	29,6858
KD2/2/25	Atkı	0,1231	0,0235	4,0919	34,2882
KD2/2/28	Atkı	0,1211	0,0093	3,8894	31,8187
KD2/2/31	Atkı	0,1180	0,0117	3,4530	29,3221

KD 2/1 kumaşlarına ait atkı yönünde sürtünme katsayılarının zaman ile değişim grafikleri incelendiğinde atkı sıklığının artışı ile sürtünme katsayısının artışı KD 2/1 kumaşlarında çözgü yönünde Şekil 3.8' de ve Tablo 3.5' te görülmektedir. Sürtünme katsayılarının standart sapma değerleri, ortalama değerlerin %7'si ile %15' i arasında değişmektedir. Bu değer 10 mN altında ölçülen değerlere göre daha iyi fakat yüksek bir değerdir.

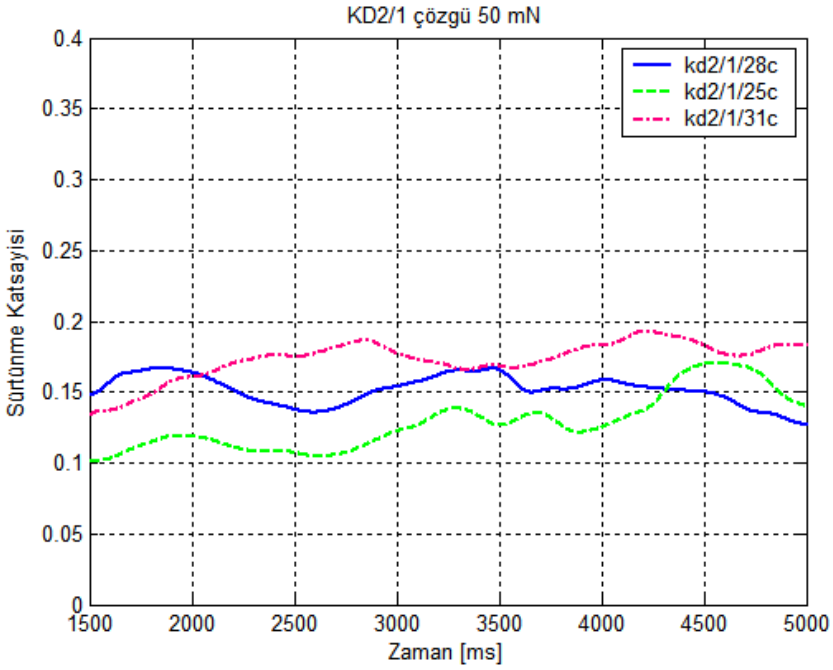
KD 2/2 kumaşlarına ait grafikler incelendiğinde kumaşlar arasındaki ayrım çok net gözükmemekle birlikte atkı sıklığının artması ile sürtünme katsayısının artışı sadece belli zaman aralıklarında gözlenebilmektedir (Şekil 3.9). Sürtünme katsayılarının standart sapma değerleri, ortalama değerlerin %8'i ile %19'u arasında değişmektedir.

Bir önceki bölümde kumaşların viskoelastik özelliğinden ve düşük basınç altında, normal kuvvetin çok değişim gösterdiğinden bahsedilmiştir. 50 mN' luk ön yükleme kuvveti altında sürtünme katsayılarının standart sapmaları 10 mN altında alınan sonuçlara göre daha düşük çıkmıştır. Ortalama ölçülen normal kuvvet 31,48 mN iken standart sapma değeri ise 6,03' tür.

KD 2/1 ve KD2/2 kumaşlarının yüksek standart sapma değerleri, ölçülen normal tepki kuvvetlerinin standart sapmasının ortalamadan % 20 sapması, kullanılan ön yükleme kuvvetinin kumaşların sınıflandırılmasında kullanmak için uygun olmadığını göstermektedir.

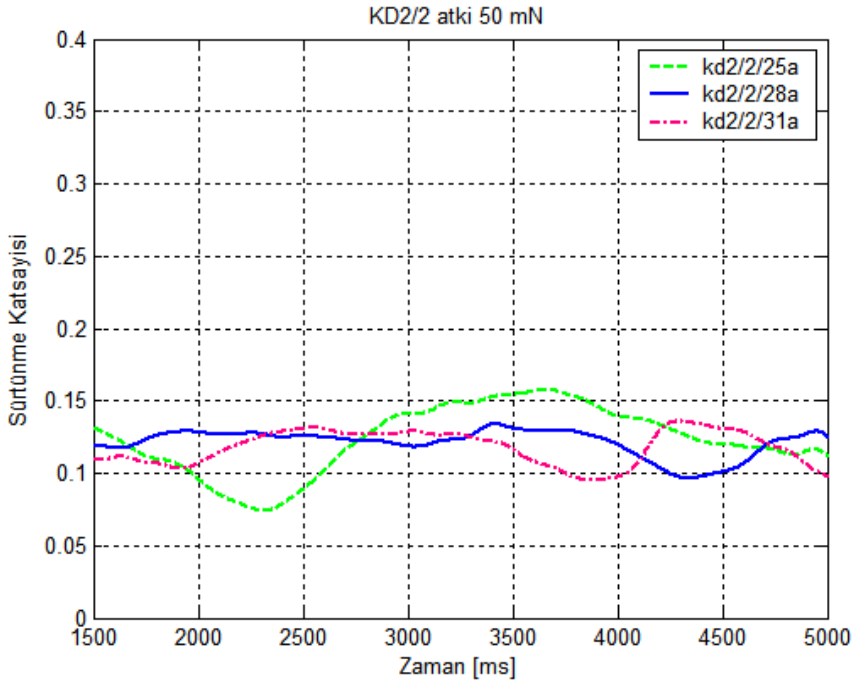


(a)

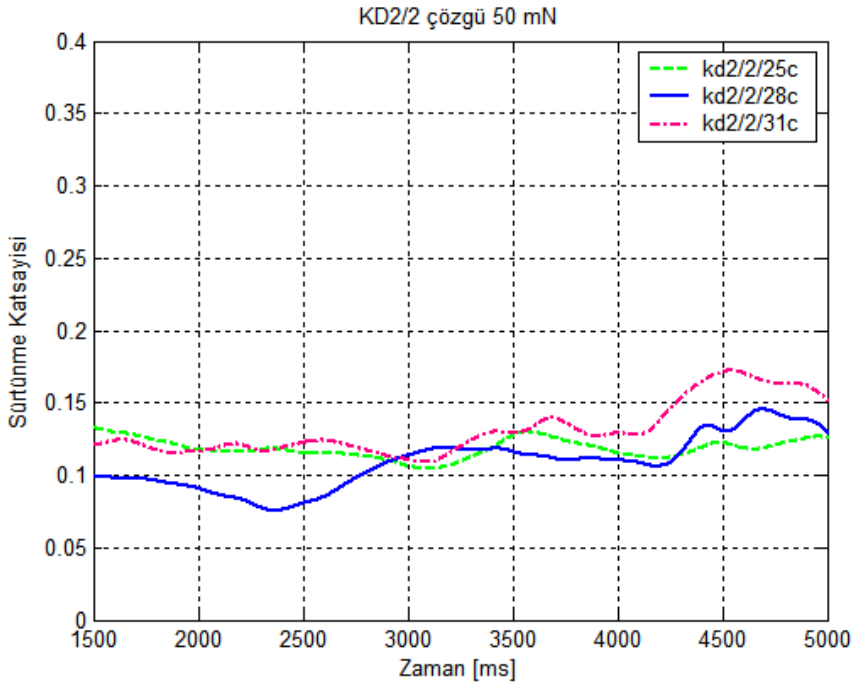


(b)

Şekil 3.8: KD 2/1 Örgüsünde, 25, 28 ve 31 Atkı Sıklıklarında Dokunmuş Kumaşların Atkı (a) ve Çözgü (b) Yönünde 50 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Ölçülen Sürtünme Katsayısı Eğrilerinin Karşılaştırılması



(a)



(b)

Şekil 3.9: KD 2/2 Örgüsünde, 25, 28 ve 31 Atkı Sıklıklarında Dokunmuş Kumaşların Atkı (a) ve Çözgü (b) Yönünde 50 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Ölçülen Sürtünme Katsayısı Eğrilerinin Karşılaştırılması

3.3.1.3 100 mN ön yükleme kuvveti

Uygulanan 100 mN ön yükleme kuvveti kullanılan ölçüm ucu üzerinde 88,42 mN/cm^2 basınca karşılık gelmektedir.

Tablo 3.6: 100 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Ölçülen Sürtünme Katsayısı (μ), Standart Sapma (Std. s.), Normal Tepki Kuvveti (N), Sürtünme Kuvveti (F)

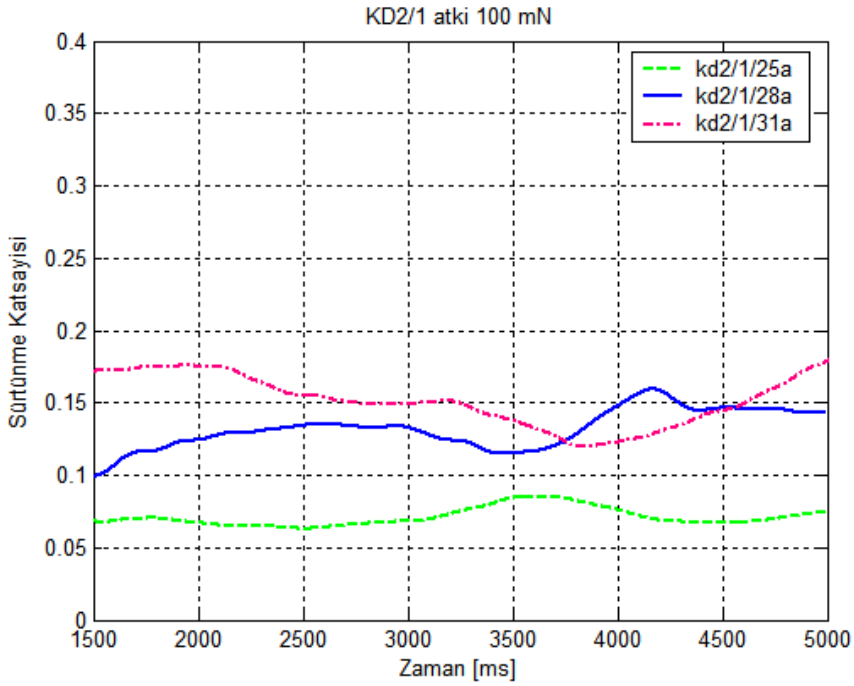
		Sürtünme Değerleri			
Kumaş kodu	Ölçüm yönü	μ	Std. s.	F	N
KD2/1/25	Çözgü	0,1260	0,0175	6,7710	55,3686
KD2/1/28	Çözgü	0,1429	0,0122	10,9604	76,7393
KD2/1/31	Çözgü	0,1559	0,0131	10,7212	69,2881
KD2/1/25	Atkı	0,0710	0,0062	9,1609	129,974
KD2/1/28	Atkı	0,1321	0,0131	7,5347	58,1584
KD2/1/31	Atkı	0,1512	0,0173	12,6085	82,5676
KD2/2/25	Çözgü	0,1125	0,0086	7,5240	67,6357
KD2/2/28	Çözgü	0,1040	0,0196	6,0656	60,9225
KD2/2/31	Çözgü	0,1142	0,0101	7,0747	63,1707
KD2/2/25	Atkı	0,1138	0,0199	7,6609	68,7415
KD2/2/28	Atkı	0,1158	0,0063	7,9416	68,4938
KD2/2/31	Atkı	0,1095	0,0090	6,5196	59,8792

KD 2/1 kumaşlarda sıklıklar arttıkça sürtünme katsayısındaki değişim açık bir şekilde gözlenirken KD 2/2 kumaşlarda bu artış rahat bir şekilde gözlenememiştir (Şekil 3.10-3.11).

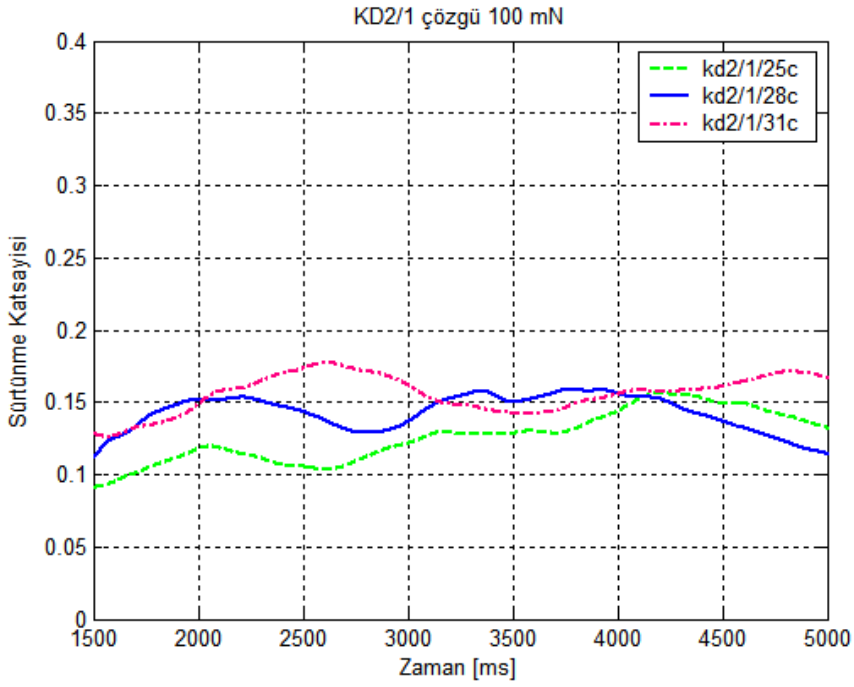
KD 2/1 ve KD 2/2 kumaşlarının sürtünme katsayılarının standart sapma değerleri, her iki grup için de ortalama değerin %12'si civarındadır. Standart sapma değerlerinin 10 mN ve 50 mN ön yükleme kuvveti altında alınan değerlere göre daha düşük çıkmıştır. Bu değişim Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'den de gözlenebilmektedir.

10 mN ve 50 mN ön yükleme kuvvetleri altında alınan normal tepki kuvvetleri standart sapmaları ortalama değerlere göre çok yüksekken 100 mN ön kuvvet altında ölçülen normal kuvvetler arasında bir iki değer hariç büyük farklar yoktur (Tablo 3.6). Ölçülen normal tepki kuvvetlerin ortalaması, 71,75 mN iken standart sapma değeri 19,90' dır.

Normal tepki kuvvetlerinin standart sapması ortalama tepki kuvvetine göre çok yüksek olduğu için, bu kuvvet altında kumaşlar arası sınıflandırma yapmak mümkün olmamaktadır.

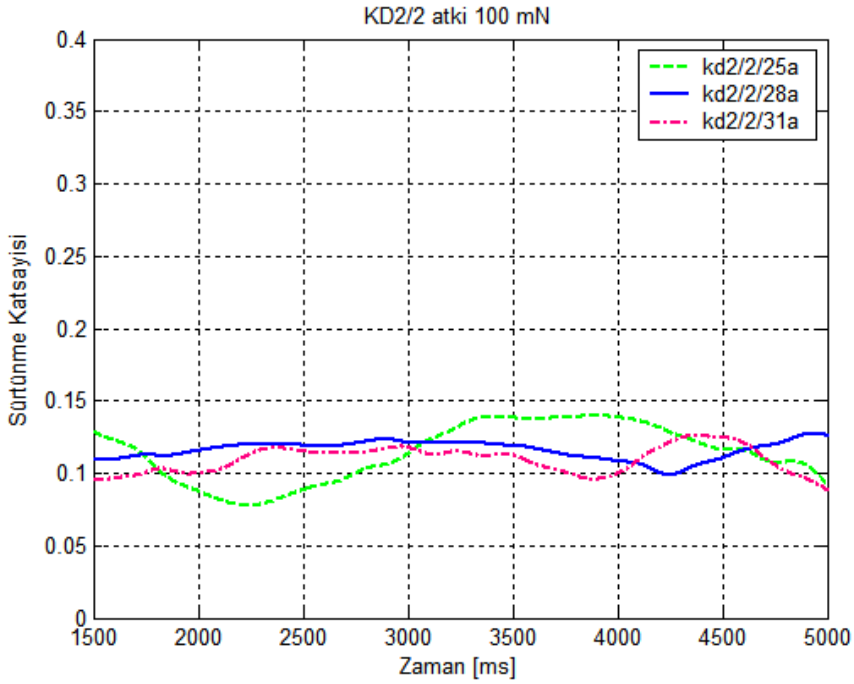


(a)

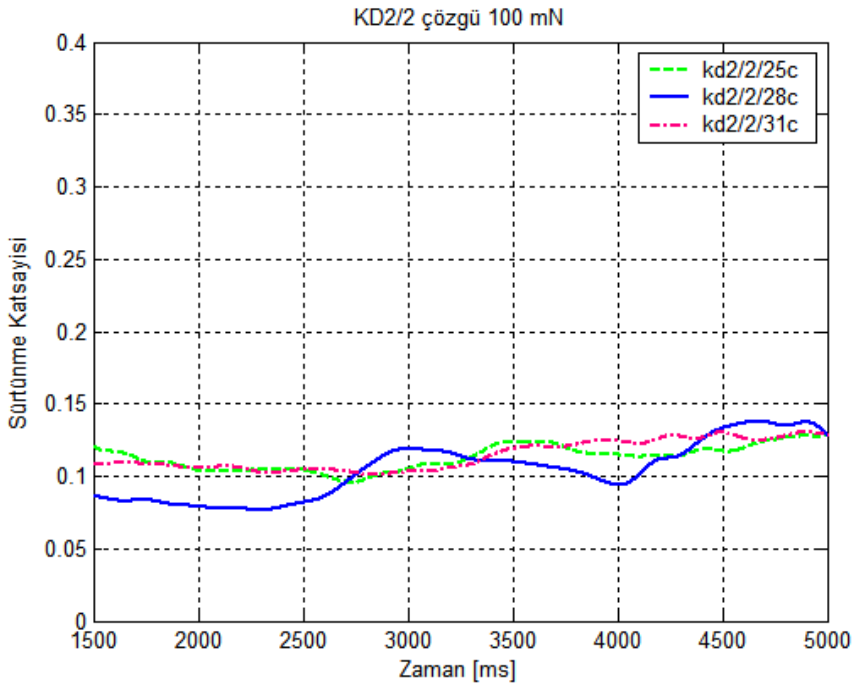


(b)

Şekil 3.10: KD 2/1 Örgüsünde, 25, 28 ve 31 Atkı Sıklıklarında Dokunmuş Kumaşların Atkı (a) ve Çözgü (b) Yönünde 100 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Ölçülen Sürtünme Katsayısı Eğrilerinin Karşılaştırılması



(a)



(b)

Şekil 3.11: KD 2/2 Örgüsünde, 25, 28 ve 31 Atkı Sıklıklarında Dokunmuş Kumaşların Atkı (a) ve Çözgü (b) Yönünde 100 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Ölçülen Sürtünme Katsayısı Eğrilerinin Karşılaştırılması

3.3.1.4 200 mN ön yükleme kuvveti

Uygulanan 200 mN ön yükleme kuvveti, kullanılan ölçüm ucu üzerinde 176,84 mN/cm^2 basınca karşılık gelmektedir.

Tablo 3.7: 200 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Ölçülen Sürtünme Katsayısı (μ), Standart Sapma (Std. s.), Normal Tepki Kuvveti (N), Sürtünme Kuvveti (F)

		Ölçülen Değerler			
Kumaş kodu	Ölçüm yönü	μ	Std. s.	F	N
KD2/1/25	Çözgü	0,1207	0,0141	15,1959	128,2946
KD2/1/28	Çözgü	0,1357	0,0100	20,2105	148,9769
KD2/1/31	Çözgü	0,1447	0,0127	21,1282	146,372
KD2/1/25	Atkı	0,1202	0,0075	18,0616	150,5965
KD2/1/28	Atkı	0,1342	0,0066	17,9778	134,2537
KD2/1/31	Atkı	-	-	-	-
KD2/2/25	Çözgü	0,1057	0,0078	14,7547	140,6871
KD2/2/28	Çözgü	0,1027	0,0136	13,7600	136,1549
KD2/2/31	Çözgü	0,1056	0,0095	14,2983	137,0376
KD2/2/25	Atkı	0,1146	0,0148	16,2322	142,6907
KD2/2/28	Atkı	0,1105	0,0078	15,8281	143,6093
KD2/2/31	Atkı	0,1018	0,0065	13,5609	134,0063

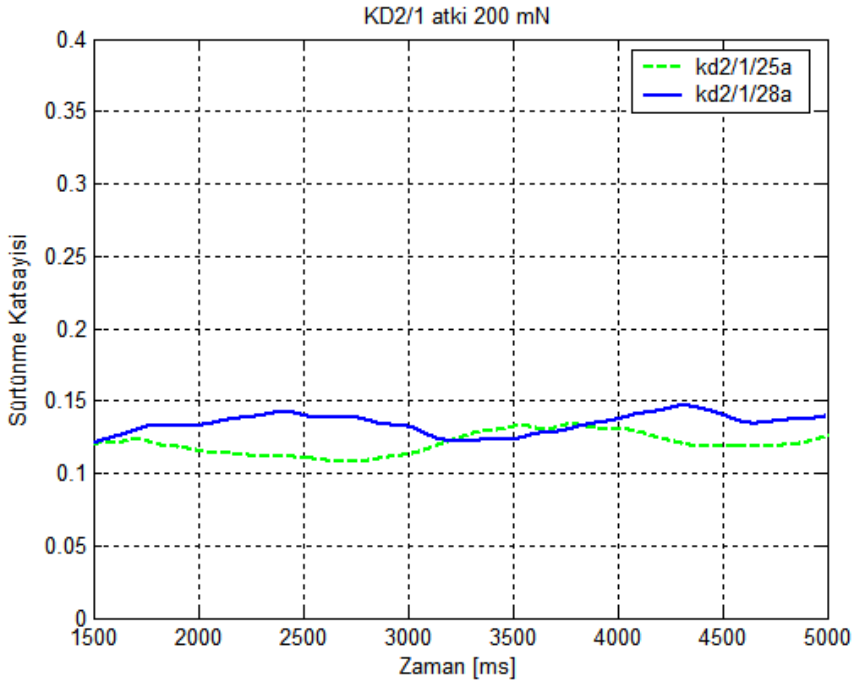
KD 2/1 kumaşlarda atkı sıklığı artarken sürtünme katsayısı artmış (Şekil 3.12), KD 2/2 kumaşlarda atkı sıklıkları artarken sürtünme katsayısının çok değişmediği görülmüştür (Şekil 3.13).

KD 2/1 ve KD 2/2 kumaşlarının sürtünme katsayılarının standart sapma değerleri, her iki grup için de ortalama değerin %10'u civarındadır. Standart sapma değerlerinin 10 mN, 50 mN ve 100 mN ön yükleme kuvveti altında alınan değerlere göre daha düşük çıkmıştır. Sürtünme katsayısı standart sapmasının düşüşü, uygulanan ön yükleme kuvvetinde kumaşlar arası bir sınıflandırma yapmak için kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

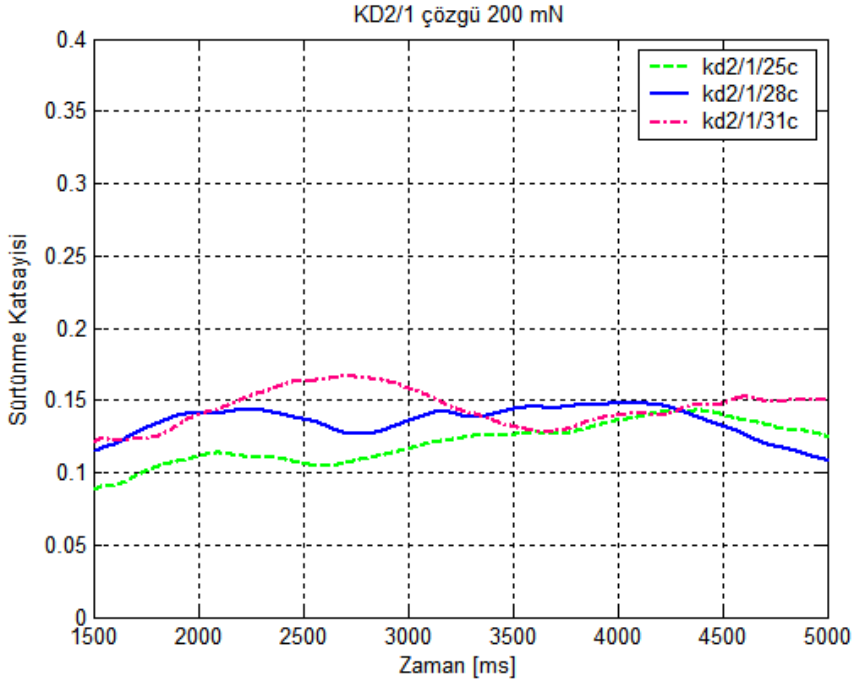
Ölçülen normal tepki kuvvetleri arasındaki farklar, diğer basınç gruplarına göre düşük çıkmıştır (Tablo 3.7). 200 mN ön yükleme kuvveti altında bütün kumaşların ölçülen tepki kuvvetlerinin ortalaması 140,24 mN iken standart sapma değeri 6.95 civarında çıkmıştır. Bu standart sapma değeri 10 mN, 50 mN ve 100 mN ön yükleme kuvveti altında elde edilen standart sapma değerlerinden çok daha düşük ve iyi bir sonuçtur.

Normal kuvvetin çok değişmemesi, ölçülen sürtünme kuvvetlerinin kumaşlar arası değerlendirme yapmak için uygun bir ön yükleme kuvveti oluşunu göstermiştir.

Sürtünme ölçüm cihazı için, kullanılan ölçüm ucu özellikleri değiştirilmeden, 200 mN ön yükleme kuvveti altında, kumaşların sürtünme testlerinin yapılabilir ve deneylerin tekrarlanabilir olduğu görülmektedir.

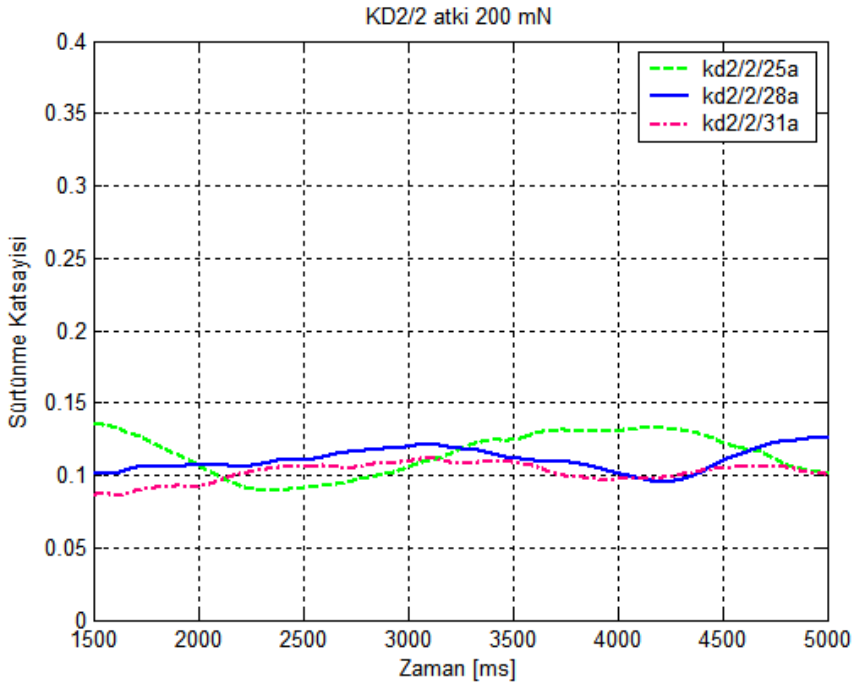


(a)

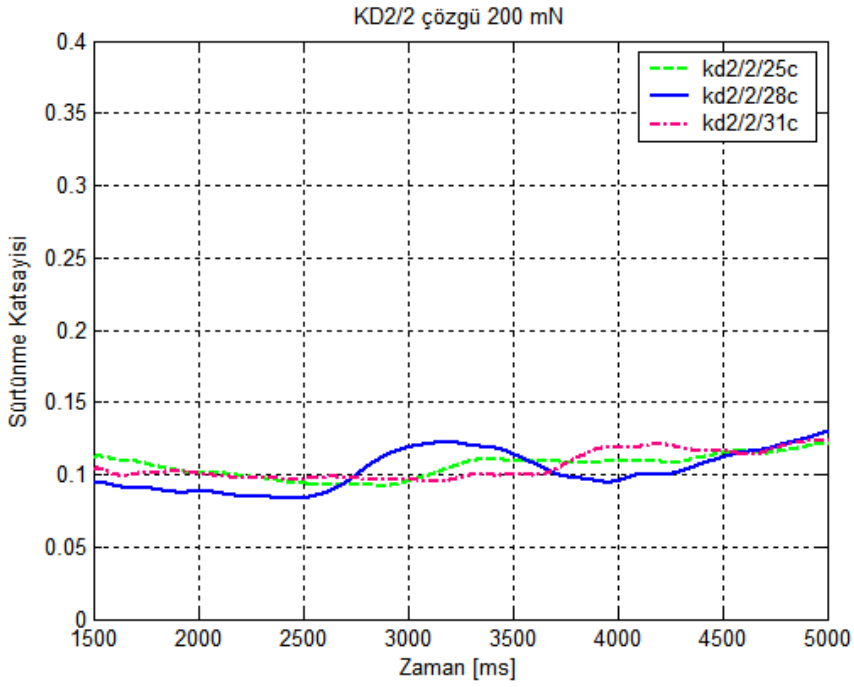


(b)

Şekil 3.12: KD 2/1 Örgüsünde, 25, 28 ve 31 Atkı Sıklıklarında Dokunmuş Kumaşların Atkı (a) ve Çözgü (b) Yönünde 200 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Ölçülen Sürtünme Katsayısı Eğrilerinin Karşılaştırılması



(a)



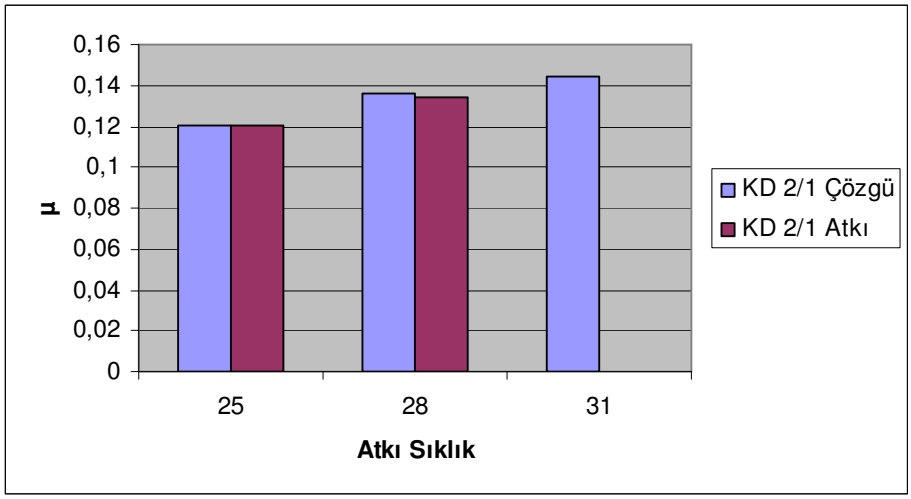
(b)

Şekil 3.13: KD 2/2 Örgüsünde, 25, 28 ve 31 Atkı Sıklıklarında Dokunmuş Kumaşların Atkı (a) ve Çözgü (b) Yönünde 200 mN Ön Yükleme Kuvveti Altında Ölçülen Sürtünme Katsayısı Eğrilerinin Karşılaştırılması

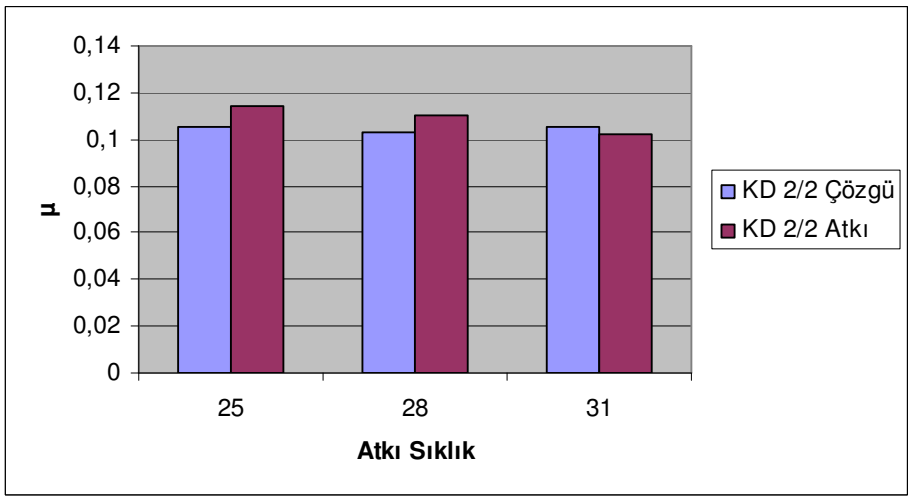
3.3.2 200 mN ön yükleme kuvveti altında sonuçların irdelenmesi

Bütün basınç gruplarında elde edilen sürtünme katsayıları ve tepki kuvvetlerinin değişimi incelendiğinde, sürtünme ölçüm cihazı için uygun ön yükleme kuvvetinin 200 mN olduğu görülmüştür.

Uygulanan 200 mN ön yükleme kuvvetine karşılık kumaşlardan ölçülen tüm tepki kuvvetlerinin ortalaması 140,24 mN iken standart sapma değeri 6,95' tir. Ölçülen tepki kuvvetleri arasındaki farkın düşük olması, kumaşlar arasında karşılaştırma yapılabilmek için sürtünme katsayısının kullanılmasına olanak vermektedir.



(a)

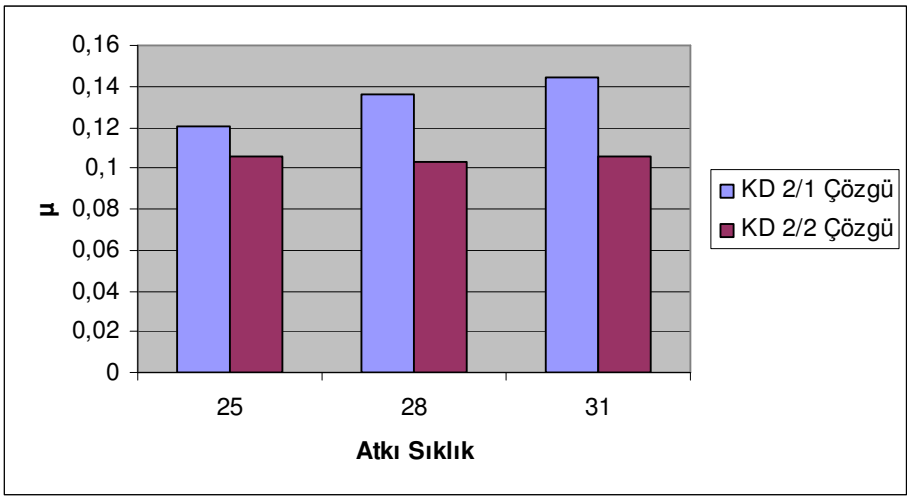


(b)

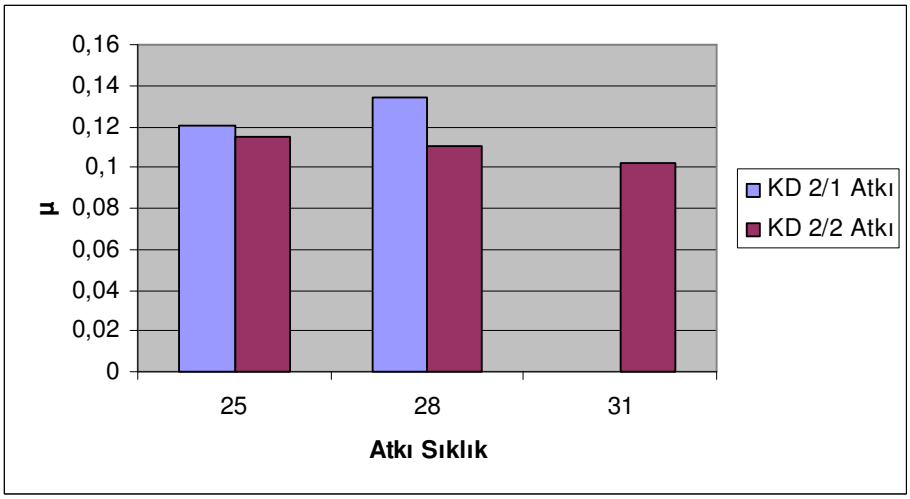
Şekil 3.14: KD 2/1 (a) ve KD 2/2 (b) Kumaşlarda Atkı Sıklıklarının Değişimi ile Sürtünme Katsayısının Değişimi

KD 2/1 kumaşlarda atkı sıklığının artması ile çözgü ve atkı yönünde sürtünme katsayılarının arttığı görülmüştür. 25 atkı sıklığında sürtünme katsayısı 0,12 değerinde iken 28 atkı sıklığında yaklaşık 0,13 değeri, 31 atkı sıklığında ise 0,14 değeri civarında çıkmıştır (Şekil 3.14).

Aynı grafikler üzerinde ölçüm yönünün etkisi incelendiğinde KD 2/1 kumaşlarda ölçüm yönünün sürtünme katsayısı üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı, KD 2/2 kumaşlarda ise atkı yönünde elde edilen değerlerin çözgü yönünde elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.15: KD 2/1 ve KD 2/2 Kumaşlarda Çözgü (a) ve Atkı (b) Yönünde Desenin Değişimi ile Sürtünme Katsayısının Değişimi

KD 2/1 ve KD 2/2 kumaşları, birbirlerine yakın çözgü ve atkı sıklıklarında üretilmiştir. Sürtünme katsayısı değerleri Şekil 3.15' te de görüldüğü gibi, KD 2/1 kumaşları KD 2/2 kumaşlarından daha yüksek sürtünme katsayılarına sahiptir. 25 atkı sıklığında çözgü yönünde K 2/1 kumaşının sürtünme katsayısı 0,1207 iken KD 2/2 kumaşının sürtünme katsayısı değeri 0,1057' dir. Sıklıkların artması ile sürtünme katsayıları hem artmış, hem de kumaşların sürtünme katsayıları arasındaki fark artmıştır.

Kumaşların sürtünme katsayılarının arasındaki farkın sebebi incelenmiş, kumaşların yüzeyindeki bağlantı sayısı ile sürtünme katsayısının doğrudan orantılı olduğu görülmüştür (Tablo 3.2). Aynı atkı sıklıklarında KD 2/1 kumaşlarının birim alandaki bağlantı sayısı KD 2/2 kumaşların bağlantı sayısından daha yüksektir. Coulomb' un teorisinde de belirttiği gibi, sürtünme, yüzey pürüzlülükleri ile doğrudan orantılıdır. Burada elde edilen sonuçlar da bu teoriyi destekler niteliktedir.

3.3.3 Sonuçların istatistiksel değerlendirilmesi

Kumaşlara ait kuvvet ve sürtünme katsayıları grafik halinde elde edildikten sonra, düzgün hareket başladıktan sonra elde edilen sürtünme katsayısının aynı kumaş için ortalaması ve standart sapması MATLAB programında hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler tablo halinde aşağıda verilmiştir (Tablo 3.8).

Değerler tablo halinde elde edildikten sonra bir istatistik programı olan Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) kullanılarak kumaşların atkı sıklıklarının değişimi, toplam örtü faktörü ve artan ön yükleme kuvveti ile kumaşların sürtünme katsayıları arasındaki korelasyonlar incelenmiştir.

Eymen' in tanımına göre korelasyon, iki farklı değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve şiddetini belirler [39]. Korelasyon değerleri -1, +1 arasında değişmektedir. Korelasyonun pozitif çıkması; birinci değişken artarken diğer değişkenin de arttığını göstermektedir. Korelasyonun negatif çıkması; birinci değişken artarken diğer değişkenin azaldığını göstermektedir.

Elde edilen korelasyonların anlamlı olup olmadığı için ayrıca anlamlılık aralığı incelenir. Anlamlılık değeri p, 0,05' den küçükse elde edilen korelasyon ilişkisi

anlamlıdır. Eğer anlamlılık değeri 0,05'den büyükse bulunan değer rastlantısaldır denilir. Bu çalışmada yapılan korelasyonlar Pearson korelasyonudur.

Tablo 3.8: Kumaşlara Ait Farklı Ön Kuvvetler Altında Yapılan Ölçümlerde Sürtünme Katsayısı (μ) ve Standart Sapma (Std. s.) Değerleri

Kumaş Kodu	Yön	10 mN		50 mN		100 mN		200 mN	
		μ	Std. s.	μ	Std. s.	μ	Std. s.	μ	Std. s.
KD2/1/25	Çözgü	0,2048	0,0601	0,1284	0,0197	0,1260	0,0175	0,1207	0,0141
KD2/1/28	Çözgü	0,1530	0,0127	0,1518	0,0101	0,1429	0,0122	0,1357	0,0100
KD2/1/31	Çözgü	0,2231	0,0595	0,1729	0,0133	0,1559	0,0131	0,1447	0,0127
KD2/1/25	Atkı	0,1363	0,0261	0,1397	0,0196	0,0710	0,0062	0,1202	0,0075
KD2/1/28	Atkı	0,1732	0,0359	0,1386	0,0176	0,1321	0,0131	0,1342	0,0066
KD2/1/31	Atkı	0,1746	0,0284	0,1575	0,0207	0,1512	0,0173	-	-
KD2/2/25	Çözgü	0,1232	0,0256	0,1183	0,0065	0,1125	0,0086	0,1057	0,0078
KD2/2/28	Çözgü	0,1233	0,0212	0,1086	0,0183	0,1040	0,0196	0,1027	0,0136
KD2/2/31	Çözgü	0,1800	0,0481	0,1315	0,0183	0,1142	0,0101	0,1056	0,0095
KD2/2/25	Atkı	0,1588	0,0366	0,1231	0,0235	0,1138	0,0199	0,1146	0,0148
KD2/2/28	Atkı	0,1308	0,0240	0,1211	0,0093	0,1158	0,0063	0,1105	0,0078
KD2/2/31	Atkı	0,1239	0,0098	0,1180	0,0117	0,1095	0,0090	0,1018	0,0065

Daha önce yapılan çalışmalarda sürtünme katsayısının yüzeydeki pürüzlülüklerle ilişkili olduğu gözlenmiştir [4, 20]. Bu çalışmalardan yola çıkılarak burada yüzey pürüzlülüğü ile ilişkili olan atkı sıklıklarının ve toplam örtü faktörünün sürtünme ile korelasyonu hesaplanmıştır. Ayrıca bir işlem parametresi olan normal yükün sürtünme katsayısı ile korelasyonu hesaplanmıştır.

3.3.3.1 Atkı sıklıklarının etkisi

Bu çalışma için iki desende, değişen atkı sıklıklarında kumaşlar üretilmiştir. Sıklıklar arttıkça, kumaşın diğer özellikleri sabitken kumaş sürtünme katsayısının ne şekilde değiştiği incelenmek istenmiştir.

Atkı sıklıklarının değişimi ile kumaşın yapısal özellikleri de değişmektedir. Atkı sıklığının artması ile birim alandaki atkı ve çözgü ipliklerinin kesişim sayısı, bağlantı sayısı da değişmektedir. Birim alan başına düşen bağlantı ya da kesişim sayısı, ölçüm ucu ile temas eden gerçek temas alanıyla doğrudan orantılı olduğu için sürtünme katsayısının bu özelliklerle doğrudan orantılı olduğu tahmin edilmektedir. Yalnız aynı desen grubu içerisinde, bağlantı ve kesişim sayısının değişimi atkı sıklıkları ile

doğru orantılı değiştiği için yapılan korelasyonlar da eşit çıkmıştır, bunun için tek başlık altında korelasyonların incelenmesi yeterli görülmüştür.

KD 2/1 ve KD 2/2 kumaşlarının hepsi 25, 28 ve 31 atkı sıklıklarında üretildiği için kumaşlar ayrı gruplar halinde değerlendirilmiştir. Kumaşların sürtünme katsayılarındaki beklenen değişim, atkı sıklığının artması ile sürtünme katsayısının artmasıdır.

Tablo 3.9: KD2/1 Kumaşlara Ait Atkı Sıklık - μ Korelasyonu

KD2/1 Kumaşlar	Kumaşlar genel		Atkı yönü		Çözgü yönü	
	Korelasyon	p	Korelasyon	p	Korelasyon	p
10 mN ön kuvvet	0,394	0,439	0,882	0,313	0,252	0,838
50 mN ön kuvvet	0,875	0,022	0,839	0,366	1,000	0,019
100 mN ön kuvvet	0,796	0,058	0,957	0,187	0,997	0,048
200 mN ön kuvvet	0,991	0,001	1,000	-	0,990	0,091

Tablo 3.10: KD2/2 Kumaşlara Ait Atkı Sıklık - μ Korelasyonu

KD2/2 Kumaşlar	Kumaşlar genel		Atkı yönü		Çözgü yönü	
	Korelasyon	p	Korelasyon	p	Korelasyon	p
10 mN ön kuvvet	0,205	0,697	-0,944	0,214	0,867	0,332
50 mN ön kuvvet	0,242	0,644	-0,992	0,079	0,574	0,611
100 mN ön kuvvet	-0,135	0,798	-0,668	0,534	0,156	0,901
200 mN ön kuvvet	-0,591	0,216	-0,979	0,130	-0,029	0,981

Elde edilen korelasyon sonuçları incelendiğinde KD 2/1 kumaşların sürtünme katsayıları ile atkı sıklıkları arasındaki korelasyon değerleri, 50 mN ön yükleme kuvveti altında, yüzde 5 güven aralığında % 87,5 ve 200 mN ön yükleme kuvveti altında yüzde 1 güven aralığında % 99,1' dir (Tablo 3.9). Bu korelasyon değerleri beklendiği gibi atkı sıklığının artışı ile pozitif güçlü bir korelasyondur. İncelenen bu korelasyonlar yönden bağımsız olarak hesaplanan korelasyonlardır.

Kumaşların ayrıca ölçüm yönüne bağlı korelasyonları incelenmiştir. KD 2/1 kumaşlarında atkı yönünde elde edilen değerlerde pozitif ve güçlü korelasyon bulunmuştur fakat anlamlılık değerleri 0,05' in üstünde olduğu için rastlantısal gibi gözükmektedir. Bunun sebebi, ölçüm sayısının azlığı ile açıklanabilir. Çözgü yönünde 50 mN ve 100 mN normal kuvvetler altında alınan ölçümler pozitif korelasyon değerlerine sahiptir ve anlamlıdır.

KD 2/2 kumaşlar için yüzde 5 veya yüzde 1 güven aralığında anlamlı bir sonuç elde edilememiştir (Tablo 3.10). Bazı korelasyon değerleri ise beklenenin aksine negatif korelasyondur. Atkı ve çözgü yönünde yapılan korelasyonlar incelendiğinde istenilen bir şekilde korelasyon elde edilemeyişinin sebebi gözükmektedir. Atkı yönünde ölçümler incelendiğinde, farklı basınçlar altında elde edilen korelasyon değerlerinin hepsi negatif korelasyondur. Çözgü yönünde ise hem pozitif hem negatif sonuçlar elde edilmiştir.

3.3.3.2 Toplam örtü faktörünün etkisi

Kumaş yapısal parametreleri ile ilgili yapılan analizlerden biri ise toplam örtü faktörü ile sürtünme katsayısı arasındaki korelasyondur. Toplam örtü faktörü atkı sıklığının artması ile artarken, sürtünme katsayısının da artışı beklenmiştir.

KD 2/1 kumaşlarda yönden bağımsız olarak 50 mN ve 200 mN ön yükleme kuvveti altında alınan sürtünme katsayısı değerlerinin toplam örtü faktörü ile korelasyonu pozitif 1'e yakın ve anlamlı aralık içindedir. Bu sonuçlar, atkı sıklıklarının artması ile elde edilen korelasyon değerlerine yakın değerlerdir. Atkı ve çözgü yönünde hesaplanan korelasyonların hemen hemen hepsi pozitif 1'e yakındır fakat anlamlılık aralıkları yüksektir.

Tablo 3.11: KD 2/1 Kumaşlar için Toplam Örtü Faktörü - μ Korelasyonu

KD 2/1 Kumaşlar	Kumaşlar genel		Atkı yönü		Çözgü yönü	
	Korelasyon	p	Korelasyon	P	Korelasyon	p
10 mN ön kuvvet	0,399	0,434	0,876	0,321	0,264	0,830
50 mN ön kuvvet	0,877	0,022	0,846	0,358	0,999	0,027
100 mN ön kuvvet	0,793	0,060	0,953	0,195	0,996	0,056
200 mN ön kuvvet	0,989	0,001	1,000	-	0,988	0,099

Tablo 3.12: KD 2/2 Kumaşlar için Toplam Örtü Faktörü - μ Korelasyonu

KD 2/2 Kumaşlar	Kumaşlar genel		Atkı yönü		Çözgü yönü	
	Korelasyon	p	Korelasyon	P	Korelasyon	p
10 mN ön kuvvet	0,205	0,697	- 0,944	0,214	0,867	0,332
50 mN ön kuvvet	0,242	0,644	- 0,992	0,079	0,574	0,611
100 mN ön kuvvet	- 0,135	0,798	- 0,668	0,534	0,156	0,901
200 mN ön kuvvet	- 0,591	0,216	- 0,979	0,130	- 0,029	0,981

KD 2/2 kumaşlarda yönden bağımsız ve yöne bağlı korelasyonlar sonucunda anlamlı bir veri elde edilememiştir. Atkı sıklıklarının etkisinin incelendiği korelasyonlarda da

olduğu gibi, toplam örtü faktörü ile sürtünme katsayısının atkı yönündeki korelasyon değerleri negatif çıkmıştır.

3.3.3.3 Normal kuvvetin etkisi

Kumaşlar ve tekstil malzemeleri daha önce de açıklandığı gibi viskoelastik malzemelerdir; kuvvet altında kolay şekil değiştirebilirler. Kumaşlarda sürtünme katsayısını ölçmek için uygulanan ön yükleme kuvvetinin sürtünme katsayısına önemli derecede etki ettiği bilinmektedir.

Tablo 3.13: KD 2/1 Kumaşlar İçin Normal Kuvvet - μ Korelasyonu

KD 2/1 Kumaşlar	Kumaşlar genel		Atkı yönü		Çözgü yönü	
	Korelasyon	p	Korelasyon	p	Korelasyon	p
KD2/1/25	-0,671	0,069	-0,674	0,326	-0,648	0,352
KD2/1/28	-0,671	0,068	-0,644	0,356	-0,980	0,020
KD2/1/31	-0,736	0,059	-0,961	0,179	-0,841	0,159

Tablo 3.14: KD 2/2 Kumaşlar için Normal Kuvvet - μ Korelasyonu

KD 2/2 Kumaşlar	Kumaşlar genel		Atkı yönü		Çözgü yönü	
	Korelasyon	p	Korelasyon	p	Korelasyon	p
KD2/2/25	-0,643	0,085	-0,724	0,076	-0,986*	0,014
KD2/2/28	-0,683	0,062	-0,926	0,074	-0,773	0,227
KD2/2/31	-0,687	0,060	-0,965	0,035	-0,824	0,176

Sürtünme katsayısının farklı kuvvetler altında değişimi için yapılan korelasyon sonuçları Tablo 3.13 ve Tablo 3.14' te verilmiştir.

Korelasyonlar her bir kumaş için genel ve her yön için ayrı ayrı elde edilmiştir. Bütün korelasyonlar negatif ve yüksek değerlidir fakat anlamlılık değerleri yüksektir. Bunun sebebi ölçüm sayısının azlığıdır. Yöne bağımlı çözgü ve atkı yönünde anlamlı aralıkta korelasyon değerleri elde edilmiştir.

Korelasyonun negatif çıkması, normal kuvvet arttıkça sürtünme katsayısının düştüğünü göstermektedir. Kumaş yüzeyindeki pürüzlülükleri oluşturan lifler, iplikler, iplik kesişim noktalarında oluşan tepe noktaları yüksek basınç altında ezilir. Pürüzlülüklerin ezilmesi ile sürtünme esnasında bu pürüzlülükleri aşmak için gereken kuvvet de azalır. Bu kuvvetler, adezyon teorisinde bahsedilen kesme kuvvetleridir.

3.3.4 Wilson denklemleri

Sonuçların ilk bölümünde dokuma kumaşların sürtünme katsayılarına ait grafikler ve grafiklerden elde edilen sayısal değerler irdelenmiştir. Verilen sabit ön yükleme değerine karşılık her bir kumaşın farklı tepki kuvveti verdiği görülmüştür. Bazı ön yükleme kuvvetleri altında sürtünme katsayılarının kumaşlar arasında çok değişim göstermesi ve standart sapmaların yüksek çıkışı tepki kuvvetinin değişiminden kaynaklanmıştır. Bu ise 200 mN ön yükleme kuvveti hariç diğer ön yükleme kuvvetlerinde kumaşlar arası sınıflandırma yapabilmeyi engellemiştir. Kumaşlar arası sınıflandırma, kumaş yapısı ile sürtünme arasında ilişki, Wilson denklemleri ile de yapılabilmektedir. Bunun için bütün kumaşlara ait Wilson denklemleri hesaplanmıştır.

Kumaşların viskoelastik özelliklerine bağlı olarak sürtünme katsayılarının da artan basınç ile değişim gösterdiği daha önce yapılan çalışmalarda gözlenmiştir. Wilson [16], kumaşların sürtünme değerlerinin logaritmik bir eğriyi takip ettiğini bulmuştur.

$$F/A = C\,(N/A)^{k} \qquad \textbf{(3.6)}$$

F, sürtünme kuvveti, A, toplam temas eden yüzey alanı, C, sürtünme parametresi, N, normal kuvvet ve k, malzemeye özgü katsayıdır.

Wilson denklemi logaritmik bir denklemdir ve normal kuvvet ve sürtünme kuvveti arasındaki ilişkiyi daha rahat görebilmek için Wilson denkleminin logaritması alınır ve yukarıdaki denklem lineer bir denklem halini alır.

$$\log F/A = \log C + k \log N/A \qquad \textbf{(3.7)}$$

Deneylerden elde edilen normal tepki ve sürtünme kuvvetleri, ölçüm ucunun temas alanına bölünerek basınç değerlerine çevrilir ve logaritmaları alınır. Elde edilen değerler ile Microsoft Office Excel 2003 programı kullanılarak grafik oluşturulmuş ve grafik üzerinde doğru oturtularak doğrunun denklemleri elde edilmiştir. Burada bütün kumaşların elde edilen doğru denklemlerinden her iki kumaş grubuna ait C ve

k katsayıları hesaplanmıştır. Böylece normal kuvvetin sürtünme kuvvetine etkisi lineer bir şekilde gözlenebilmektedir.

Kırık dimi 2/1 desenli kumaşlar için Wilson denklemleri Tablo 3.15' de Kırık dimi 2/2 desenli kumaşlar için Wilson denklemleri Tablo 3.16' da verilmiştir. Tabloda verilen C ve k Wilson denkleminin katsayıları, lineer denklem Wilson denkleminin logaritması alınmış hali ve R^2 değeri ise doğrunun verilere ne kadar düzgün oturduğunu belirten değerdir. R^2 değerinin 1' e yakın olması, doğrunun verilere o kadar düzgün oturduğunu göstermektedir.

Tablo 3.15: KD 2/1 Kumaşlarına Ait Çözgü ve Atkı Yönünde Elde Edilen Wilson Denklemi Katsayıları

Kumaş Kodu	C	k	Lineer denklem	R^2
KD2/1/25C	0,1248	0,9920	-0,9039 + 0,9920 x	0,9999
KD2/1/25A	0,2023	0,8457	-0,6940 + 0,8457 x	0,9527
KD2/1/28C	0,1649	0,9652	-0,7829 + 0,9652 x	0,9994
KD2/1/28A	0,1666	0,9439	-0,7783 + 0,9439 x	0,9992
KD2/1/31C	0,2527	0,8831	-0,5974 + 0,8831 x	1
KD2/1/31A	0,1932	0,9462	-0,7140 + 0,9462 x	1

Tablodaki değerler incelendiğinde, k değerlerinin genel olarak 1' e yakın bir değer aldığı, C değerlerinin ise 0,10 ve 0,25 arası değiştiği gözlenmektedir. k değeri 1' e ne kadar yakın bir değer çıkarsa, C değeri de sürtünme katsayısına o kadar yakın çıkacaktır ve normal Wilson denkleminin de lineerliğe yaklaşacağı ve klasik sürtünme denklemine yaklaşacağı görülmektedir.

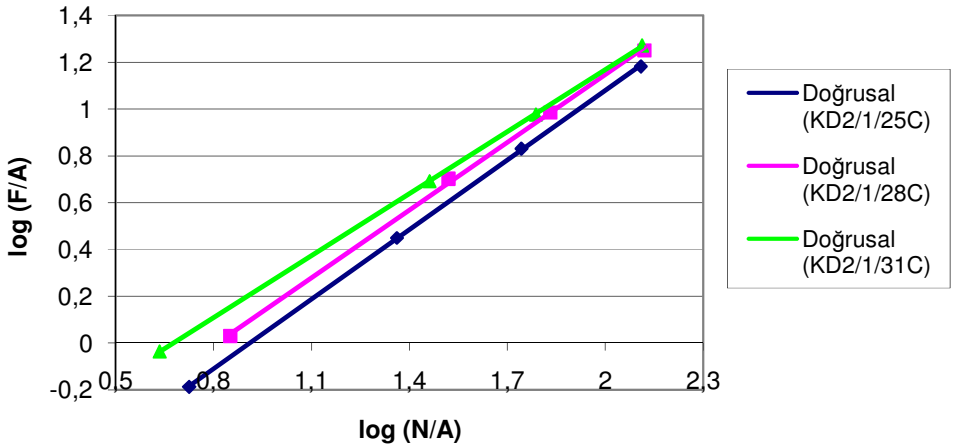
Tablo 3.16: KD2/2 Kumaşlarına Ait Çözgü ve Atkı Yönünde Elde Edilen Wilson Denklemi Katsayıları

Kumaş Kodu	C	k	Lineer Denklem	R^2
KD2/2/25C	0,1500	0,9271	-0,8239 + 0,9271 x	1,0000
KD2/2/25A	0,1613	0,9193	-0,7923 + 0,9193 x	0,9988
KD2/2/28C	0,1152	0,9680	-0,9384 + 0,9680 x	0,9998
KD2/2/28A	0,1334	0,9646	-0,8748 + 0,9646 x	0,9997
KD2/2/31C	0,1863	0,8779	-0,7299 + 0,8779 x	0,9999
KD2/2/31A	0,1471	0,9240	-0,8324 + 0,9240 x	0,9997

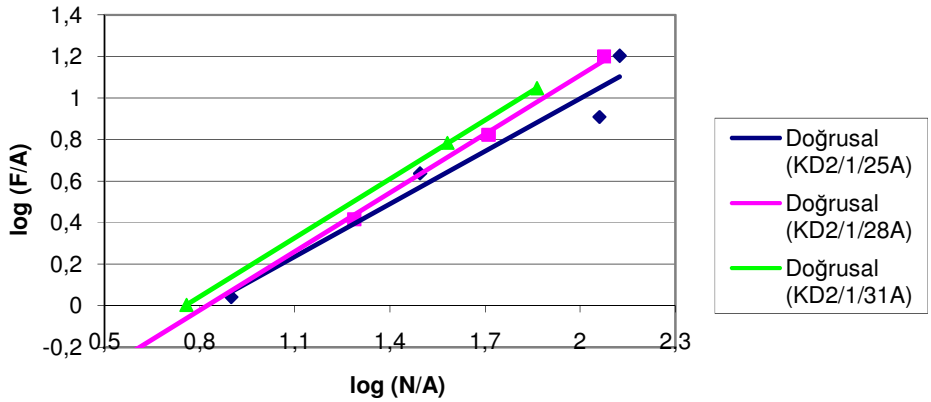
3.3.4.1 Atkı sıklıklarının sürtünmeye etkisinin incelenmesi

Kumaşlara ait Wilson denklemlerinin oluşturulmasının gerekçesi Wilson denklemleri başlığı altında açıklanmıştır. Bu başlık altında ise elde edilen Wilson sürtünme

denklemleri ile aynı yönlerde aynı desendeki kumaşların değişen atkı sıklıklarının sürtünmeye etkisi incelenmiştir.



(a)

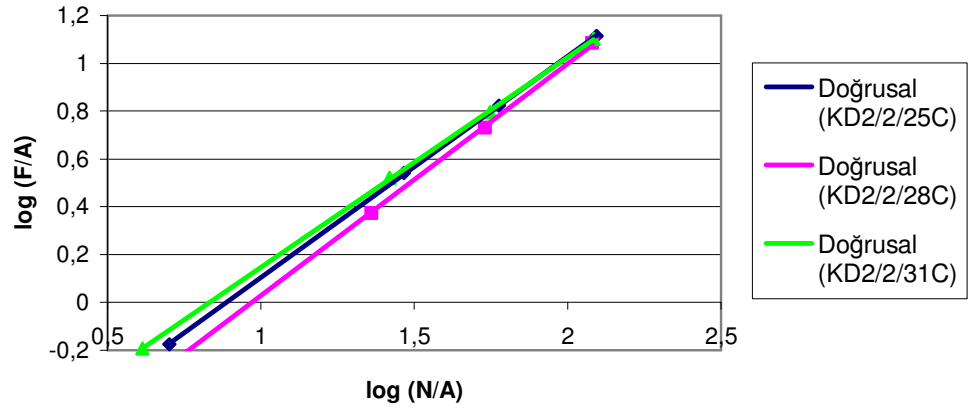


(b)

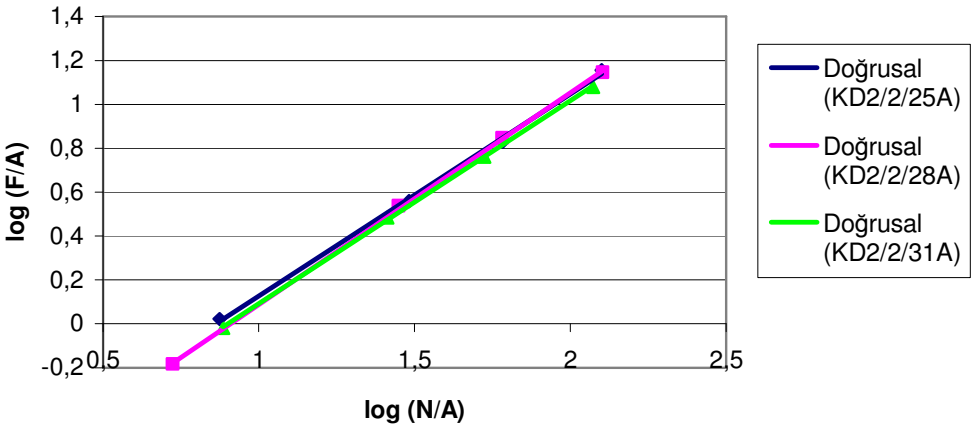
Şekil 3.16: KD 2/1 Kumaşlarının Çözgü Yönünde (a) ve Atkı Yönünde (b) Wilson Denklemlerinin Karşılaştırılması

KD 2/1 kumaşlarda atkı yönünde ve çözgü yönünde elde edilen grafikler incelendiğinde atkı sıklıklarının artışı ile aynı normal tepki kuvveti altında elde edilen sürtünme kuvvetlerinin de artışı hem atkı yönünde hem çözgü yönünde grafiklerden görülmektedir (Şekil 3.16)

KD 2/1 kumaşlarda, Wilson denklemleriyle artan atkı sıklıkları ile sürtünmenin değişimi grafik üzerinde gözlenebilir.



(a)



(b)

Şekil 3.17: KD 2/2 Kumaşlarının Çözgü Yönünde (a) ve Atkı Yönünde (b) Wilson Denklemlerinin Karşılaştırılması

KD 2/2 kumaşlarda atkı yönünde ve çözgü yönünde elde edilen grafikler incelendiğinde atkı sıklıklarının artışı ile aynı normal tepki kuvveti altında elde edilen sürtünme kuvvetlerinin de artışı net bir şekilde gözlenememektedir. Çözgü yönünde elde edilen grafikte KD2/2/31 kumaşının sürtünme kuvveti en yüksek iken ikinci yüksek değer 25 atkı sıklığında dokunan KD2/2/25 kumaşı olmuştur (Şekil 3.17).

Atkı yönünde elde edilen değerler incelendiğinde ise kumaşlar arasında ayırt edici bir fark gözlenememiştir.

Genel olarak KD 2/2 kumaşlarda atkı sıklığı ile sürtünme kuvvetinin ve katsayısının artışı gözlenememiştir.

3.3.4.2 Ölçüm yönünün sürtünmeye etkisinin incelenmesi

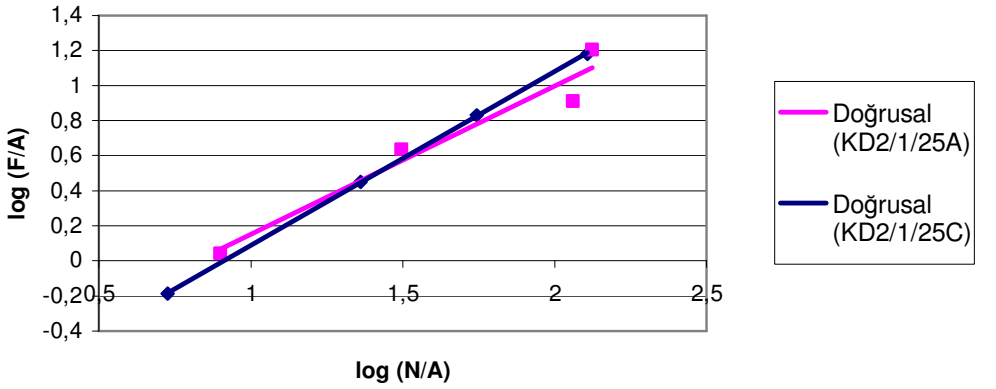
Dokuma kumaşların sürtünme özellikleri kumaş – kumaş sürtünme düzeneklerinde atkı ve çözgü boyunca birbirinden farklı özellikler gösterebilmektedir. Atkı sıklıkları ve çözgü sıklıkları, atkı ve çözgü iplik numaraları birbirinden farklı olabilir. Bu değerler değiştikçe sürtünme analizi sonucu elde edilen eğriler de değişmektedir [37, 38].

Metal – kumaş veya cam – kumaş ölçüm sistemlerinde, ölçüm ucunun kumaş yapısı ile interaksiyona girmeyişi, iki malzeme arasında birbirini çeken kuvvetlerin olmayışı sebebinden yönün çok etkili olmadığı genel olarak bilinmektedir [7].

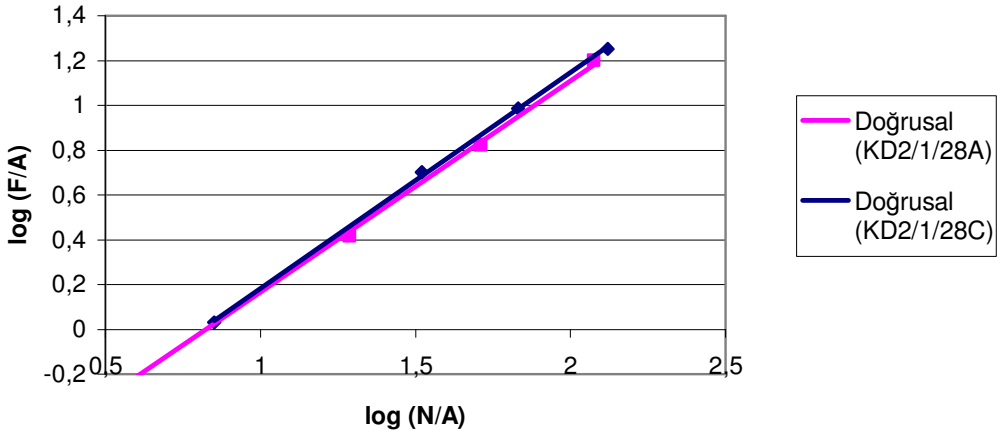
KD 2/1 kumaşlarına ait grafikler incelendiğinde atkı ve çözgü yönünde sürtünme grafikleri birbirine yakın çıksa da ufak farklılıkların olduğu görülmektedir (Şekil 3.18). Genel olarak baktığımızda ise çözgü yönünde elde edilen sürtünme denklemlerinin eğrileri atkı yönünde elde edilen denklemlerin eğrilerinden daha üsttedir. Buna göre aynı normal tepki kuvveti altında daha yukarıdaki eğri daha yüksek sürtünme kuvveti vereceği için daha yüksek sürtünme katsayısına sahip olur.

KD 2/2 kumaşlar için atkı ve çözgü yönünde elde edilen Wilson sürtünme grafikleri incelendiğinde KD2/2/25 kumaşının atkı ve çözgü yönünde elde edilen sürtünme eğrileri birbirine çok yakındır (Şekil 3.19). KD2/2/28 kumaşında aynı normal tepki kuvveti altında atkı yönünde sürtünme kuvveti daha yüksek çıkarken KD2/2/31 kumaşında çözgü yönünde elde edilen sürtünme kuvvetleri daha yüksek çıkmıştır. Bu gruptaki kumaşlar için genelleme yapılamamaktadır.

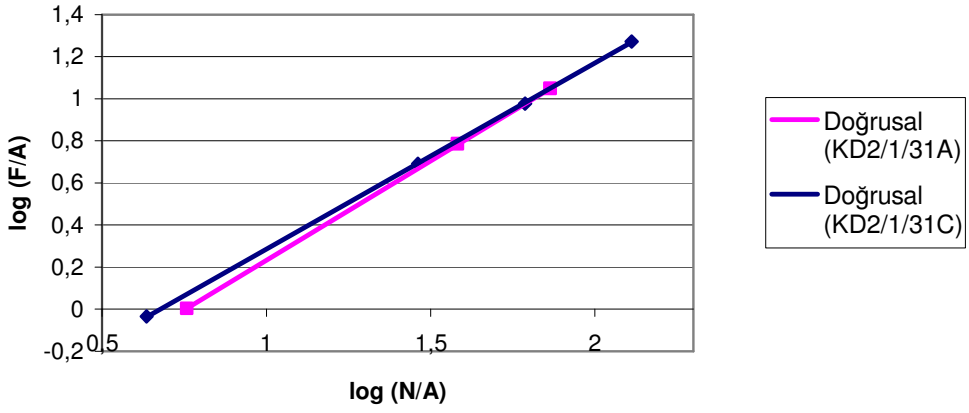
Ölçüm yönünün sürtünme katsayısı üzerinde etkisinin çok olmaması, kumaşlarda kullanılan ipliklerin aynı özellikte iplikler oluşundan kaynaklanmaktadır. Farklı numara ipliklerin sürtünme değerleri yöne bağlı olarak değişebilmektedir.



(a)

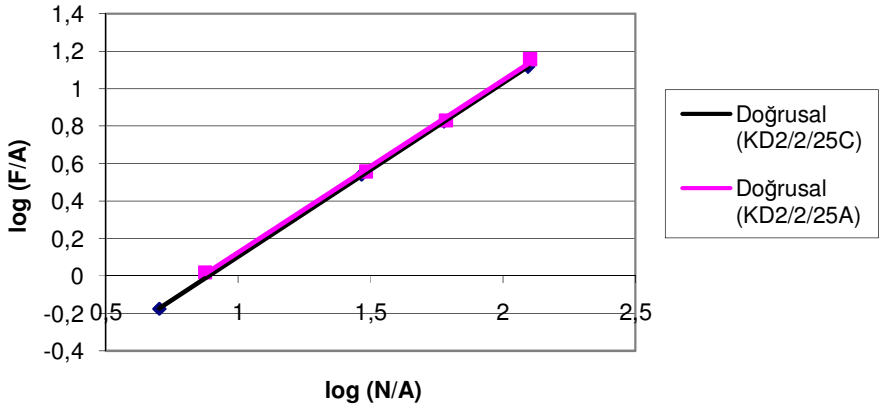


(b)

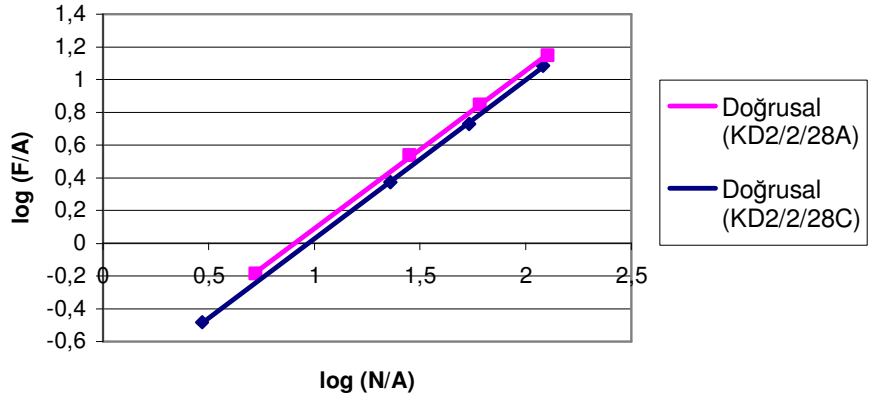


(c)

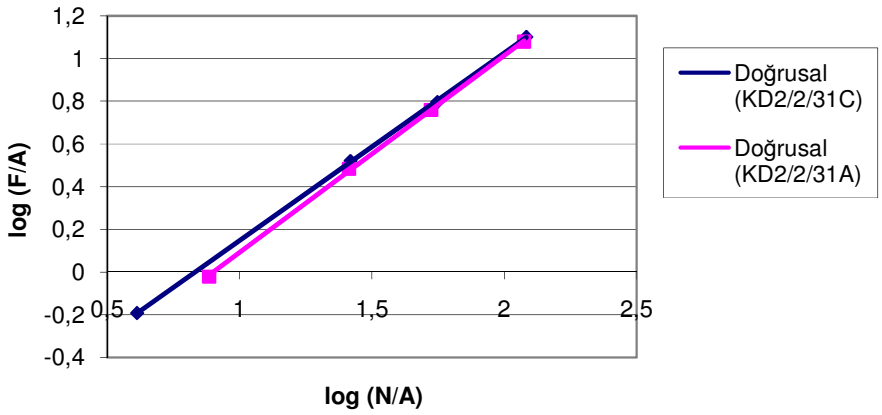
Şekil 3.18: KD2/1/25 (a), KD2/1/28 (b) ve KD2/1/31 (c) Kumaşına Ait Çözgü Yönünde ve Atkı Yönünde Elde Edilen Normal Basıncın (N/A) Birim Alana Düşen Sürtünme Kuvvetine (F/A) Etkisinin Gösterilmesi



(a)



(b)



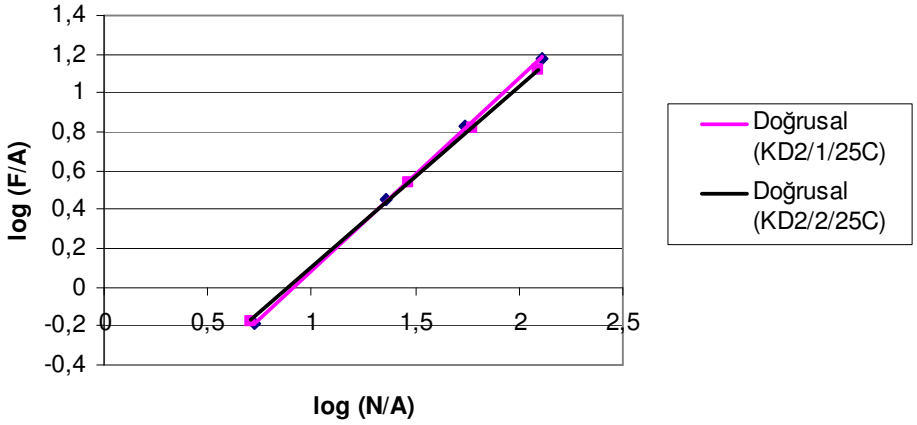
(c)

Şekil 3.19: KD2/2/25 (a), KD2/2/28 (b) ve KD2/2/31 (c) Kumaşlarına Ait Çözgü Yönünde ve Atkı Yönünde Elde Edilen Normal Basıncın (N/A) Birim Alana Düşen Sürtünme Kuvvetine (F/A) Etkisinin Gösterilmesi

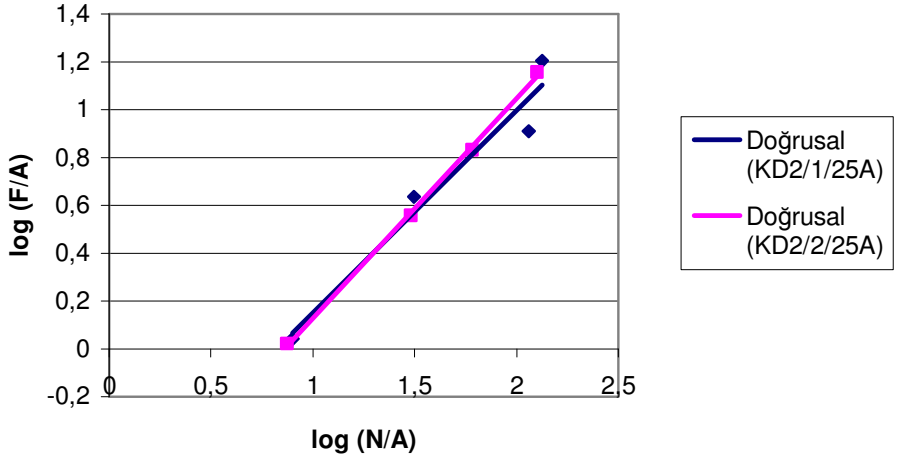
3.3.4.3 Örgü tipinin sürtünmeye etkisinin incelenmesi

Deney için hazırlanan kumaşlar 2 örgüde üretilmiştir. Sürtünme katsayısına örgü tipinin etkisinin olup olmadığı incelenmek istenmiştir. Ayrıca elde edilecek farklılıklar, kullanılan ölçüm sisteminin farklı kumaşları ayırt edebilme potansiyelini ölçmek için kullanılabilir olup olmayışı hakkında fikir verecektir.

Örgü tipinin sürtünmeye etkisinin incelenmesi için Wilson denklemlerinden yararlanılmıştır. Farklı örgü yapısına sahip iki kumaşın, aynı atkı sıklıklarında sürtünme kuvveti ve katsayısının değişimi incelenmiştir.

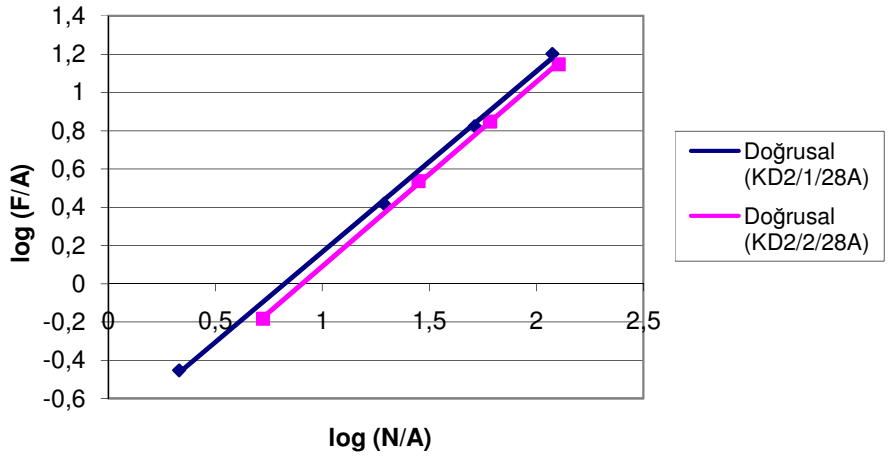


(a)

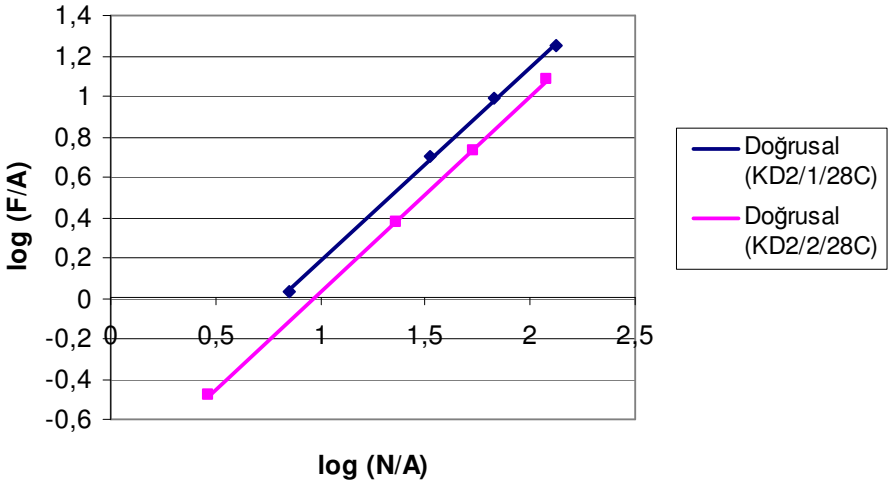


(b)

Şekil 3.20: KD2/1/25 ve KD2/2/25 Kumaşlarına Ait Çözgü Yönünde (a) ve Atkı Yönünde (b) Elde Edilen Wilson Denklemlerinde Örgü Tipinin Sürtünmeye Etkisinin Gösterilmesi

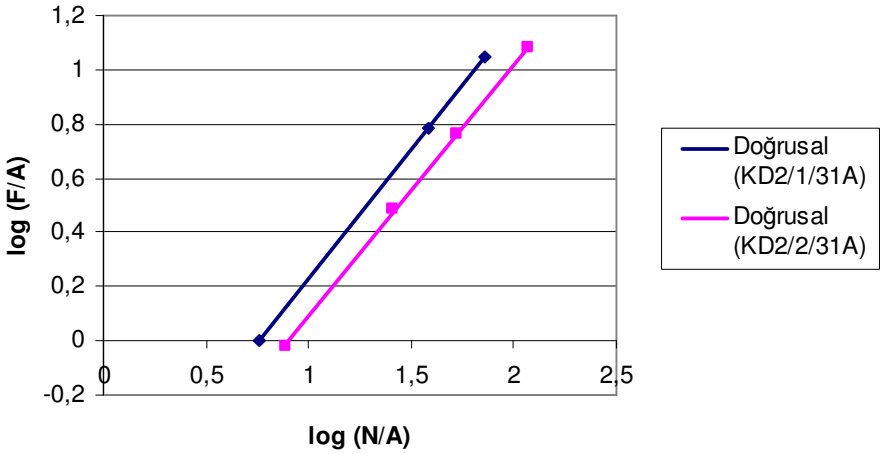


(a)

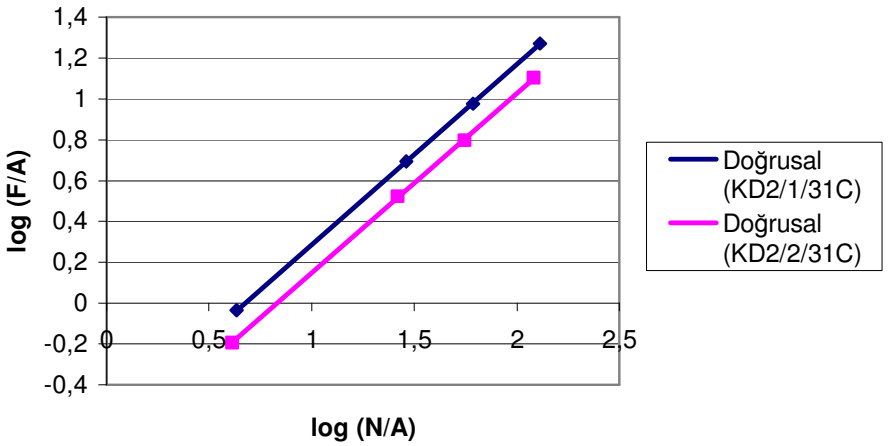


(b)

Şekil 3.21: KD2/1/28 ve KD2/2/28 Kumaşlarına Ait Çözgü Yönünde (a) ve Atkı Yönünde (b) Elde Edilen Wilson Denklemlerinde Örgü Tipinin Sürtünmeye Etkisinin Gösterilmesi



(a)



(b)

Şekil 3.22: KD2/1/31 ve KD2/2/31 Kumaşlarına Ait Çözgü Yönünde (a) ve Atkı Yönünde (b) Elde Edilen Wilson Denklemlerinde Örgü Tipinin Sürtünmeye Etkisinin Gösterilmesi

25 atkı sıklığında üretilen kumaşlar incelendiği zaman KD 2/1 ve KD 2/2 kumaşların sürtünme özellikleri arasında belirgin bir fark gözlenememiştir (Şekil 3.20). 28 ve 31 atkı sıklıklarında üretilen kumaşların Wilson sürtünme eğrileri arasında belirgin farklar gözükmektedir (Şekil 3.21 - 3.22). Çözgü ve atkı yönünde elde edilen grafiklerde KD 2/1 kumaşların KD 2/2 kumaşlardan daha yüksek sürtünme kuvvetleri ve sürtünme katsayısı verdiği görülebilmektedir. Kumaşlar arası fark, kumaş yüzeyindeki bağlantı sayısı ile ilişkilidir.

Elde edilen bu sonuçlar kumaşlar arası farkın sürtünme deneyi ile anlaşılabileceğini göstermektedir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1 Sonuçlar

Farklı ön yükleme kuvvetleri altında bütün kumaşlara ait sürtünme katsayıları incelenmiştir ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Uygun ön yükleme değerinin bulunması için 10 mN, 50 mN, 100 mN ve 200 mN ön yükleme kuvveti altında tüm kumaşların tepki kuvvetleri hesaplanmıştır. En düşük standart sapma değerine 200 mN ön yükleme kuvveti altında ulaşılmıştır. Normal tepki kuvvetlerinin ortalaması 140,24 standart sapma değeri ise 6,95' tir. Sürtünme cihazı için uygun ön yükleme kuvvetinin ölçüm ucu değişmeksizin 200 mN olduğu görülmüştür.

- Atkı sıklıklarının artması ile kumaşlarda bağlantı sayısı, toplam örtü faktörü değerleri artmıştır. KD 2/1 kumaşlarda 200 mN ön yükleme kuvveti altında atkı sıklıkları ile sürtünme katsayısının korelasyonu 0,991' dir ve 0,01 seviyesinde anlamlıdır. KD 2/2 kumaşları için anlamlı bir korelasyon elde edilememiştir.

- Kumaş örgüsünün sürtünme katsayısına etkisi incelendiğinde, 200 mN ön yükleme kuvveti altında KD 2/1 kumaşlarının KD 2/2 kumaşlarından yüksek sürtünme katsayılarına sahip olduğu görülmüştür. KD 2/1 kumaşlarının sürtünme katsayıları atkı sıklıkları arttıkça 0,1202-0,1447 arasında değişim gösterirken KD 2/2 kumaşlarının sürtünme katsayıları 0,1018-0,1146 arasında değişim göstermiştir. Atkı sıklıklarının artması ile kumaşların sürtünme katsayıları arasındaki farkın da arttığı görülmektedir. Kumaşlar aynı atkı sıklıklarında ve birbirlerine çok yakın çözgü sıklıklarında üretilmiştir. Sürtünme katsayısı üzerinde belirleyici olan faktörün kumaş örgüsüne bağlı bağlantı sayısının olduğu görülmüştür.

- Ölçüm yönünün sürtünme katsayısı üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmektedir. 200 mN ön yükleme kuvveti altında KD 2/1 kumaşlarda sürtünme katsayıları 0,1207 - 0,1447 arasında değişirken, kumaşların sürtünme katsayılarının ölçüm yönüne bağlı farkları 0,0005 - 0,0013 arasında değişim göstermiştir. KD 2/2 kumaşlarda ise sürtünme katsayıları 0,1018 - 0,1146 arasında değişim gösterirken, kumaşların sürtünme katsayılarının ölçüm yönüne bağlı farkları 0,0038 - 0,0089 arasında değişim göstermiştir. Wilson denklemlerine bakıldığında ölçüm yönüne bağlı farkların çok düşük seviyede olduğu görülmektedir.

- Normal tepki kuvvetinin artması ile sürtünme katsayıları düşmektedir. Normal tepki kuvveti ve sürtünme katsayısı arasındaki korelasyonlar KD 2/1 ve KD 2/2 kumaşları için negatif çıkmıştır. Korelasyon değerleri -0,643 ve -0,736 değerleri arasında değişim göstermiştir. Normal tepki kuvvetinin sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi Wilson denklemlerinde de görülmektedir. Wilson denklemindeki 'k' katsayısı 1'den daha düşük bir sayıdır. Buradaki kumaşlarda k katsayıları 0,8457 - 0,9920 arasında değişim göstermiştir.

4.2 Sürtünme Ölçüm Cihazının Konvansiyonel Cihazlardan Farkları

Daha önce yapılan çalışmalar ve kullanılan sistemler incelendiğinde, bu çalışmada kullanılan sistem ile aralarında bazı farklar olduğu tespit edilmiştir, bunlar:

- Normal kuvvetin değişimi ile kumaşlarda yüzey sürtünme katsayısı değişmektedir. Instron mukavemet cihazında normal kuvvet kızağın ağırlığına eşit alınır ve buna göre sürtünme katsayıları hesaplanır. Bu çalışmada belli bir ön yükleme değerine ulaşıldıktan sonra ölçüm ucunun dikey hareketi durdurulmuştur ve yatay hareket başlamıştır. Yatay hareket boyunca uygulanan ön yüke karşılık normal tepki kuvveti ölçülmüştür ve normal kuvvetin kumaştan kumaşa değişim gösterdiği görülmüştür.

- Yük hücresi hassasiyeti Instron mukavemet cihazlarında düşüktür, kullanılan yük hücreleri 1 – 10 kilogramlık yük hücreleridir. Bu sistemde kullanılan yük hücreleri çok daha hassas yük hücreleridir, 10 – 1000 gramlık yük hücreleri kullanılmıştır. Bu bağlamda çok daha hassas sonuçlar elde edilebilmektedir.

- Ölçüm ucu geometrisi mukavemet cihazı ve benzeri sistemlerde sabittir ve kızak büyüklüğü ve ağırlığı değişebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan cihazda farklı çaplarda ve farklı uç geometrilerinde ölçüm uçları kullanılabilmektedir.

- Kızak sistemlerinde kullanılan makaralar minimum sürtünmeli olsa da makara ve yatak arasında düşük seviyede sürtünme vardır ve bu deney sonuçlarını da etkilemektedir. Çalışmada kullanılan ölçüm ucu sisteminde böyle bir dezavantaj bulunmamaktadır.

- Hareket esnekliği dikkate alındığında, ölçüm ucu ile ölçüm yapan bu sistemde istenirse ileri geri hareket sağlanmaktadır. Mukavemet cihazlarında bu sistem kurulabilmekte fakat deney verilerinin hesaplanmasıyla ilgili zorluklar yaşanmaktadır.

4.3 Öneriler

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar incelenmiş, öneriler ve bundan sonra yapılabilecek çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Kumaşlar arası farkların sürtünme katsayısı üzerine etkisini elde etmek için 200 mN ve üzeri ön yükleme kuvvetlerinde ölçümler alınmalıdır.

- Ölçüm ucu malzemesi veya uç geometrisi değiştirilerek ölçüm ucunun sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi incelenebilir.

- Atkı ve çözgü yönlerinden başka doğrultularda ölçümler alınabilir ve açının değişimi ile sürtünme katsayısının değişimi incelenebilir.

- Farklı tip ipliklerden mamul benzer kumaşlarda iplik tipinin sürtünmeye etkisi incelenebilir.

- Aynı yapıdaki kumaşlarda, elyaf içerikleri değiştirilerek elyaf cinsinin sürtünme katsayısına etkisi incelenebilir.

- Kumaşlara ait yapısal özellikler sabit tutularak kimyasal ve mekanik bitim işlemlerinin yüzey sürtünme katsayısına etkisi incelenebilir.

- Farklı kumaş örgüsüne sahip kumaşların sürtünme özellikleri incelenebilir.

- Ölçüm ucunun hareketi, insan elinin kumaş üzerinde gezinme hızı, mesafesi ve kumaşa teması esnasında uyguladığı basınç değerlerine göre sürtünme cihazı çalışma koşulları ayarlanıp, elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin kumaşlar arası ayırt edici olabilirliği incelenebilir.

- Sürtünme ölçüm cihazında, ölçüm ucunun kumaş üzerinde ileri ve geri hareketi sağlanıp, elde edilen sürtünme katsayıları arasında hareket yönüne bağlı fark olup olmadığı incelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] **Denton M.J. and Daniels P.N.,** 1988. Textiles Terms and Definitions, The Textile Institute, Manchester.

[2] Hand Committee Considers New Test Methods, 2008. *AATCC Review*, **8(4),** 8.

[3] **Carr, W.W., Posey, J.E. and Tincher, W.C.,** 1988. Frictional Characteristics of Apparel Fabrics, *Textile Research Journal,* **58(3)**, 129-136.

[4] **Ajayi, J.O.,** 1992. Effects of Fabric Structure on Frictional Properties, *Textile Research Journal,* **62(2),** 87-93.

[5] **Ramkumar, S.S.,** 2000. Method For Determining The Frictional Properties of Materials, *United States Standards*, No:6397672, dated 29.10.2000.

[6] **Bertaux, E., Lewandowski, M. and Derler, S.,** 2007. Relationship Between Friction and Tactile Properties for Woven and Knitted Fabrics, *Textile Research Journal, 77***(6),** 387-396.

[7] **Das, A., Kothari, V.K. and Vandana, N.,** 2005. A Study on Frictional Characteristics of Woven Fabrics, *AUTEX Research Journal*, **5(3)**, 133-140.

[8] **Ramkumar, S.S., Mahmud, R., Shastri, L. and Chinnasami, S.,** 2006. Hand Evaluation of Nonwoven Fabrics Using Friction-Based Method, *AATCC Review*, **6(2)**, p 35-38 .

[9] **Jeddi, A.A.A., Shams, S., Nosraty, H. and Sarsharzadeh**, **A.,** 2003. Relations Between Fabric Structure and Friction Part I: Woven Fabrics, *Journal of Textile Institute*, **94**, 223-234.

[10] **Jeddi, A.A.A., Khorram-Toussi Z., Maleki, V. and Yazdanifar, K.,** 2003. Relations Between Fabric Structure and Friction Part II: Weft Knitted Fabrics, *Journal of Textile Institute*, **85**, 1-9.

[11] **Jeddi, A.A.A., Arshi, A., Maleki, V. and Fakhr, V.,** 2006. Relations Between Fabric Structure and Friction Part III: Warp Kitted Fabrics, *The Journal of the Textile Institute*, **97**, 103-109.

[12] **Howell, H. G., Mieszkis, K. W. and Tabor, D., 1959.** Friction in Textiles Butterworths Scientific Publications, London.

[13] **Url – 1** <sciart.karaelmas.edu.tr/bolumler/fizik2/Ders%20Notlari/Mek04.pdf>, alındığı tarih 25.07.2008.

[14] **Persson, B.N.J.,** 1998. Sliding Friction Physical Principals and Applications. Springer, Berlin.

[15] **Gupta, B.S. and Mogahzy, Y.E.E.,** 1991. Friction in Fibrous Materials, *Textile Research Journal,* **61(9),** 547-555.

[16] **Wilson, D.,** 1963. A study of fabric–on–fabric dynamic friction. *Journal of Textile Institute*, **54**, T143.

[17] **Hoffman, R.M. and Beste, L.F.,** 1951. Some Relations of Fiber Properties to Fabric Hand, *Textile Research Journal,* **21(2)**, 66-77.

[18] **Layton, J. M.,** 2003. Friction in Textiles, *The Textile Institute,* **34**, 1-92 .

[19] **Thorndike, G.H. and Varley, L.,** 1961. Measurement of the coefficient of friction between samples of the same cloth. *J. Text. Institute*, **52,** 255.

[20] **Ajayi, J.O.,** 1992. Fabric Smoothness, Friction, and Handle. *Textile Research Journal*, **62(1),** 52-59.

[21] **Hermann, D., Ramkumar, S.S., Seshaiyer, P. and Parameswaren, S.,** 2004. Frictional Study of Woven Fabrics: The Relationship Between the Friction and Velocity of Testing, *Journal of Applied Polymer Science,* **91(6)**, 2420-2424.

[22] **Zurek W., Jankowiak D. and Frydrych I.,** 1985. Surface Frictional Resistance of Fabrics Woven from Filament Yarns, *Textile Research Journal*, **55(2),** 113-121.

[23] **Ramkumar, S. S., Wood, D.J., Fox, K. and Harlock, C.,** 2003. Developing a Polymeric Human Finger Sensor to Study the Frictional Properties of

Textiles: Part II: Experimental Results, *Textile Research Journal,* **73(7)**, 606-610.

[24] **Kim, J., Hamouda, H., Shalev, I. and Barker, R.L.,** 1993. Instrumental Methods for Measuring the Surface Frictional Properties of Softener Treated Fabrics, *Textile Chemist and Colorist*, **25**, 15-20.

[25] **Potluri, P., Porat, I. and Atkinson, J.,** 1995. Towards automated testing of Fabrics, *International Journal of Clothing Science and Technology*, **7**, 11-23.

[26] **Url -2** <http://www.sdlatlas.com/html/m264.html>, alındığı tarih 17.06.2008.

[27] **Saville, B.P.,** 1999. Physical Testing of Textiles, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge.

[28] **Url - 3** <http://www.gardco.com/pages/impact_flex/fx7000coftester.htm>, alındığı tarih 23.05.2008.

[29] **Url – 4** <http://www.instron.com.tr/wa/library/streamfile.aspx?doc=356>, alındığı tarih 07.08.2008.

[30] **Okur, A.** 2002. Kumaşların Sürtünme Davranışları Üzerine Bir Araştırma Bölüm I: Aynı Cins Kumaşlar Arasındaki Statik ve Kinetik Sürtünme Dirençlerinin İncelenmesi, *Tekstil Maraton*, Mart-Nisan, 47- 57.

[31] **Manual for Surface Tester KES-FB-4**, Kyoto, Japan: KATO Tech Co., Ltd.

[32] **Sülar, V.,** 2005. Kumaş Tutumunun Ölçülebilir Kumaş Özelliklerinden Tahminlenmesi Üzerine Bir Araştırma, *Doktora Tezi,* Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

[33] **Behery, H.,** 2005. Effect of Mechanical and Physical Properties on Fabric Hand, Woodhead Publishing Limited. Cambridge.

[34] **Chen, P., Barker, R.L., Smith, G.W. and Scruggs, B**., 1992. Handle of Weft Knit Fabrics, *Textile Research Journal,* **62(4)**, 200-211.

[35] **TS 251,** 1991. Dokunmuş Kumaşlar - Birim Uzunluk ve Birim Alan Kütlesinin Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[36] **TS 7128 EN ISO 5084,** 1998. Tekstil-Tekstil ve Tekstil Mamullerinin Kalınlık Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[37] **Grover, G., Sultan, M.A. and Spivak, S.M.,** 1993. A screening technique for fabric handle, *Journal of Textile Institute*, **84(3)**, 486-489.

[38] **Minazio, P. G.,** 1995. FAST- Fabric assurance by simple testing, *International Journal of Clothing Science and Technology,* **7**, 43-48.

[39] **EYMEN, U. E.,** 2007 Ekim. SPSS 15.0 Veri Analiz Yöntemleri,

<www.istatistikmerkezi.com>, erişim tarihi 08.08.2008.

ÖZGEÇMİŞ

Melek GÜL, 1982 yılında Ankara'da doğdu. Orta ve lise öğrenimini Kocaeli'nde Özel İnanç Lisesi'nde tamamladı. 2000 yılında girdiği İ.T.Ü. Tekstil Mühendisliği bölümünden 2005 yılında mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği ana bilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Mart 2006'dan itibaren İ.T.Ü. Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.