**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# İPLİK SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

**Gonca BALCI**

**Ağustos, 2010**

**İZMİR**

# İPLİK SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Tekstil Mühendisliği Bölümü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı**

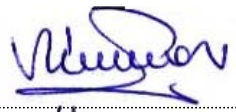
**Gonca BALCI**

**Ağustos, 2010**

**İZMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU**

**GONCA BALCI,** tarafından **ÖĞR. GÖR. DR. VİLDAN SÜLAR** yönetiminde hazırlanan **"İPLİK SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Öğr. Gör. Dr. Vildan SÜLAR

Yönetici



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Güngör DURUR

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mustafa SABUNCU
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

# TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli görüş ve önerilerini esirgemeyen danışmanım Sayın Öğr. Gör. Dr. Vildan SÜLAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yürüttüğü doktora tezi kapsamında üretilen iplikleri kullanmama izin veren ve her zaman desteğini hissettiğim Sayın Prof. Dr. Ayşe OKUR'a teşekkür ederim.

Doktora tezi kapsamında ürettirdiği iplikleri benimle paylaşan, tez çalışmam boyunca düşünsel, maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen nişanlım Araş. Gör. Musa KILIÇ'a sonsuz desteği, anlayışı ve fedakârlığından ötürü teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi tezim sırasında da bana destek olan Ankara'daki aileme ve son iki yılımın her anında yanımda olarak yüzümü güldüren İzmir'deki aileme teşekkürü borç bilirim.

Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne 2008.KB.FEN.022 nolu "İplik Sürtünmesini Etkileyen Faktörler" isimli projeye sağladıkları katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans öğrenimim boyunca beni destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu BİDEB-2210 Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı'na teşekkür ederim.

**Gonca BALCI**

# İPLİK SÜRTÜNME ÖZELLİKLERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

## ÖZ

Tekstil yüzeylerinin sürtünme özellikleri üretim sürecini, meydana gelen ürünün özelliklerini ve kullanım performansını etkilemesi sebebiyle liften kumaşa bütün tekstil materyalleri için önemli bir özelliktir. Bu çalışmada öncelikle ipliklerin sürtünme özellikleri ve sürtünme özelliklerini etkileyen faktörler ile iplik sürtünmesinin ölçümü hakkında bilgiler verilmiş ve yapılan deneysel çalışma ile bu faktörlerden bazılarının iplik sürtünme özeliklerine etkisi incelenmiştir.

Deneysel çalışma kapsamında farklı eğirme teknolojilerine (ring, kompakt, vortex), farklı hammaddelere (%100 pamuk, %50/50 pamuk/tencel, %100 tencel) ve farklı büküm katsayılarına (ring iplikleri için $\alpha_e$=3,4, $\alpha_e$=3,7, $\alpha_e$=4,0) sahip Ne 30 numara ipliklerin sürtünme katsayıları belirlenerek ipliğin yapısal özelliklerinin iplik-iplik ve iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayısına etkisi araştırılmıştır. Ayrıca üç farklı giriş gerginliği ve üç farklı sürtünme yüzeyi kullanılarak test koşullarının da iplik sürtünme katsayısına etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar oluşturulan grafikler ve gerçekleştirilen istatistiksel analizler ile yorumlanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda araştırmada kullanılan deney materyali için ipliğin yapısal özelliklerinin ve test koşullarının sürtünme katsayısı sonuçlarını değiştirdiği belirlenmiştir. Sonuçlar hammadde açısından incelendiğinde karışıma rejenere selüloz lifi olan tencelin eklenmesiyle birlikte iplik-iplik sürtünmesinin azaldığı, iplik-metal ve iplik-seramik sürtünmesinin arttığı gözlenmiştir. Yapısal parametrelerden bir diğeri olan eğirme teknolojisi dikkate alındığında ise ring, kompakt ve vortex eğirme teknolojisi ile üretilen ipliklerin aynı hammaddeyi içermelerine rağmen farklı yüzey özellikleri göstermeleri nedeniyle iplik sürtünme katsayıları arasında fark olduğu görülmüştür. Vortex iplikleri iplik-iplik sürtünmesi testlerinde en düşük sürtünme katsayısı değerlerini verirken, iplik-metal ve iplik-seramik sürtünmesi testlerinde en yüksek değerleri vermiştir.

Test koşullarının etkisini incelemek amacıyla yapılan testler sonunda giriş gerginliğinin artmasıyla birlikte iplik-iplik sürtünmesinde sürtünme katsayısının net bir şekilde azaldığı belirlenmiştir. İplik-iplik, iplik-metal ve iplik-seramik sürtünmesi test sonuçları incelendiğinde ise en yüksek sürtünme katsayısı değerleri iplik-seramik sürtünmesinde, en düşük sürtünme katsayısı değerleri iplik-iplik sürtünmesinde elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** iplik sürtünmesi, iplik-iplik sürtünmesi, iplik-metal sürtünmesi, iplik-seramik sürtünmesi, Capstan yöntemi, bükülmüş iplik yöntemi

## FACTORS AFFECTING YARN FRICTION

## ABSTRACT

Frictional properties of textile surfaces are important for all textile products from fiber to fabric because they affect production processes, properties and performance of the final product. In this study, some general knowledge about frictional properties of yarns, factors affecting these properties and measurement of yarn friction were given first and then effects of some of these factors on yarn frictional properties were analyzed with the experimental work.

Within the context of experimental work, friction coefficients of Ne 30 yarns produced in different spinning systems (ring, compact and vortex) with different raw materials (100% cotton, 50%-50% cotton-Tencel and 100% Tencel) and with different twist multipliers ($\alpha_e$=3.4, $\alpha_e$=3.7, $\alpha_e$=4.0 for ring yarns) have been examined. The effects of yarn structural properties on yarn-to-yarn and yarn-to-metal and yarn-to-ceramic friction coefficients and also the effects of test conditions on yarn friction coefficient have been investigated by using three different input tensions and three different friction surfaces.

In conclusions, it has been stated that yarn structural properties and test conditions affect the yarn friction coefficient. When the effect of raw material on results was examined, it was obtained that yarn-to-yarn friction decreases, yarn-to-metal and yarn-to-ceramic friction increases with the increasing ratio of the tencel in blended yarn. An examination of the effect of spinning systems on results indicates that although the raw material content of the yarns were all same, friction coefficients of ring, compact and vortex yarns were different because of the nature of their different surface properties. The friction coefficients of vortex yarns were the lowest for yarn-to-yarn friction tests and the highest for yarn-to-metal and yarn-to-ceramic tests.

When the effects of the test conditions were examined, it was seen that friction coefficient decreases certainly for yarn-to-yarn test with the increasing input tension. When yarn-to-yarn, yarn-to-metal and yarn-to-ceramic experimental results were

investigated, it was determined that the highest friction coefficients were obtained for yarn-to ceramic test, on the other hand the lowest for yarn-to yarn test.

**Keywords:** Yarn friction, yarn-to-yarn friction, yarn-to-metal friction, yarn-to-ceramic friction, Capstan method, twisted strand method

## İÇİNDEKİLER

**Sayfa**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ..... ii
TEŞEKKÜR ..... iii
ÖZ ..... iv
ABSTRACT ..... vi

**BÖLÜM BİR - GİRİŞ ..... 1**

1.1 Genel Bilgiler ..... 1
1.2 Sürtünme Kuvveti ve Sürtünme Katsayısı ..... 3
1.2.1 Statik ve Dinamik Sürtünme Kuvveti ..... 6
1.2.2 Stick-Slip Kavramı ve Önemi ..... 9
1.3 Sürtünme Teorileri ..... 11
1.4 Tekstil Materyallerinde Sürtünme ..... 20
1.4.1 Lif Sürtünmesi ..... 20
1.4.2 İplik Sürtünmesi ..... 21
1.4.3 Kumaş Sürtünmesi ..... 21
1.5 İplik Sürtünmesi ve İplik Sürtünmesini Etkileyen Faktörler ..... 21
1.5.1 Lif Özelliklerinin İplik Sürtünmesine Etkisi ..... 25
1.5.2 İplik Yapısal ve Hacimsel Özelliklerinin İplik Sürtünmesine Etkisi ..... 26
1.5.3 Test Parametrelerinin İplik Sürtünmesine Etkisi ..... 27
1.6 İplik Sürtünmesinin Ölçülmesi ..... 29
1.6.1 Noktasal Temas Yöntemleri ..... 29
1.6.2 Çizgisel Temas Yöntemleri ..... 30
1.6.2.1 İplik-İplik Sürtünmesinin Belirlenmesinde Kullanılan Çizgisel Temas Yöntemleri ..... 32
1.6.2.1.1 Capstan Yöntemi ..... 32
1.6.2.1.2 Bükülmüş İplik Yöntemi ..... 33
1.6.2.2 İplik-Materyal Sürtünmesinin Belirlenmesinde Kullanılan Çizgisel Temas Yöntemleri ..... 35

1.7 İplik Sürtünmesi Ölçümünde Kullanılan Cihazlar ..... 37
1.8 Önceki Çalışmalar ..... 39
1.9 Çalışmanın Amacı ..... 54

**BÖLÜM İKİ - MATERYAL VE METOT ..... 55**

2.1 Materyal ..... 55
2.2 Metot ..... 60
2.2.1 İplik-İplik Sürtünmesinin Ölçümü ve Sürtünme Katsayısının Hesaplanması ..... 63
2.2.2 İplik-Metal ve İplik-Seramik Sürtünmesinin Ölçümü ve Sürtünme Katsayısının Hesaplanması ..... 65
2.3 Sonuçların İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi ..... 67

**BÖLÜM ÜÇ - ARAŞTIRMA SONUÇLARI ..... 68**

3.1. İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçları ..... 68
3.1.1. İplik-İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçları ..... 68
3.1.2. İplik-Metal Sürtünmesi Ölçüm Sonuçları ..... 74
3.1.3. İplik-Seramik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçları ..... 80
3.2. (Çıkış Gerginliği/Giriş Gerginliği) Oranı Ölçüm Sonuçları ..... 86
3.2.1. İplik-İplik Sürtünmesi (Çıkış Gerginliği/Giriş Gerginliği) Ölçüm Sonuçları ..... 86
3.2.2. İplik-Metal (Çıkış Gerginliği/Giriş Gerginliği) Oranı Ölçüm Sonuçları ..... 88
3.2.3. İplik-Seramik (Çıkış Gerginliği/Giriş Gerginliği) Ölçüm Sonuçları ..... 90

**BÖLÜM DÖRT - SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ ..... 92**

4.1. İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarının İplik Yapısal Özellikleri Açısından Değerlendirilmesi ..... 93

4.1.1. İplik-İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Hammadde ve Eğirme Teknolojisinin Etkisi ..... 93
4.1.2. İplik-İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Büküm Katsayısının Etkisi ..... 99
4.1.3. İplik-Metal Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Hammadde ve Eğirme Teknolojisinin Etkisi ..... 102
4.1.4. İplik-Metal Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Büküm Katsayısının Etkisi ..... 109
4.1.5. İplik-Seramik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Hammadde ve Eğirme Teknolojisinin Etkisi ..... 112
4.1.6. İplik-Seramik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Büküm Katsayısının Etkisi ..... 119
4.2. İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarının Test Koşulları Açısından Değerlendirilmesi..... 122
4.2.1. İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Giriş Gerginliğinin Etkisi ..... 123
4.2.1.1. İplik-İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Giriş Gerginliğinin Etkisi ..... 123
4.2.1.2. İplik-Metal Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Giriş Gerginliğinin Etkisi ..... 125
4.2.1.3. İplik-Seramik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Giriş Gerginliğinin Etkisi ..... 127
4.2.2. İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Sürtünme Yüzeyinin Etkisi..... 129
4.2.2.1. 15 cN Giriş Gerginliğinde İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Sürtünme Yüzeyinin Etkisi..... 130
4.2.2.2. 60 cN Giriş Gerginliğinde İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Sürtünme Yüzeyinin Etkisi..... 136
4.2.2.3. 90 cN Giriş Gerginliğinde İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Sürtünme Yüzeyinin Etkisi..... 140

**BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR VE ÖNERİLER ..... 144**

**KAYNAKLAR ..... 150**

# BÖLÜM BİR
# GİRİŞ

## 1.1 Genel Bilgiler

Sürtünme, hayatımızın her anında ve her alanında ortaya çıkan, birçok yaşamsal faaliyeti yerine getirmemizi sağlayan bir kuvvettir. Çok eski çağlardan beri insanlar bazı yaşamsal olayların ortaya çıkış kaynağının sürtünme kuvveti olduğunu bilmeseler de bu kuvvetten yararlanmışlardır. Genel olarak sürtünme kuvveti temas halindeki iki yüzey arasında oluşan bağıl harekete karşı koyan kuvvet olarak tanımlanmaktadır. Sürtünme ve sürtünme kuvveti kavramı yaşantımızın temel kavramlarından biridir. Doğadaki tüm nesnelerin ve insanların hareket etmesi ve durması, araçlarda fren sisteminin çalışması, tekerleklerin yol üzerinde hareket edebilmesi, bir cismin kavranması, makina parçalarının aşınması ve günlük yaşantımızda karşımıza çıkan birçok temel hareket (hareket edilmesi, durulması, yazı yazmak için kalem tutulması ve bir kağıda yazı yazılması, vidaların bağlantı noktalarında kalması, düğümlerin atılması, dikiş işleminin gerçekleşmesi, düğmelerin düşmemesi v.b) direkt olarak sürtünme ile ilgilidir.

Hayatımızdaki yeri tartışılamayacak boyutlarda olan sürtünme liften kumaşa bütün tekstil materyallerinde de kaliteyi, yapılan işlemlerin etkinliğini, ürünün performansını etkilediğinden önemli bir özelliktir. Son ürünün oluşumuna kadar tekstil materyalleri birçok işlem görmekte ve bu işlemler sırasında doğadaki tüm materyaller gibi karşı konulamaz bir şekilde sürtünme kuvveti etkisi altında kalmaktadır. Tüketicinin satın alacağı son ürünün özelliklerini kumaş ve dikim özellikleri belirlemekte, kumaş özelliklerini de kumaşı oluşturan iplikler, ipliklerin özelliklerini de iplik yapısında bulunan liflerin özellikleri ve davranışları belirlemektedir. Bu nedenle sürtünme, liflerin iplik oluşum sürecindeki ve ipliklerin kumaş oluşum sürecindeki davranışlarını belirleyen en önemli faktörlerden biridir.

Tekstil materyallerinin sürtünmesini sürtünen tekstil yüzeyi cinsi açısından lif sürtünmesi, iplik sürtünmesi ve kumaş sürtünmesi şeklinde sınıflandırmak mümkündür.

Lif sürtünmesi, iplik üretimi sırasında çekme, tarama ve eğirme işlemlerinde liflerin yönlenmesinde, kuvvetlerin iletiminde ve liflerin iplik yapısı içerisinde bir arada durmasında, kesikli liflerden yapılan ipliklerde lifler arası kohezyon ve iplik mukavemetinde önemli rol oynamaktadır. Öte yandan, lif ve ipliklerde meydana gelen sürtünme kılavuzlardan geçerken lif ve ipliklerin kopuşuna neden olmasının yanı sıra makina elemanlarının aşınması ve kırılmasının nedeni olarak gösterilebilir. Liflerde meydana gelen sürtünme aynı zamanda ipliklerin ve kumaşın sürtünme özelliklerini de etkileyeceğinden üzerinde durulması gereken bir konudur. Dokusuz yüzeyler dışındaki tekstil materyallerinin temel yapı taşı ipliktir. Tekstil yüzeylerinin oluşumu sırasında lifler önce iplik formuna getirilerek daha sonra da dokuma ya da örme yöntemiyle birleştirilerek kumaşları oluşturmaktadır. Bu nedenle tekstil yüzeylerinin sürtünme davranışlarında yapının içerisinde bulunan ipliklerin sürtünme davranışları son derece etkili olacaktır. Örneğin kumaş mukavemetini lifler ve iplikler arasındaki sürtünme belirleyecektir (Hong ve Jayanaraman, 2003).

İplik sürtünmesi, işlemler boyunca iplik davranışlarını belirlemesinin yanı sıra üretilen kumaşın eğilme, gerilme, sürtünme özellikleri gibi temel özelliklerini ve iplik tüylülüğü ile birlikte boncuklanma oluşumunu, aşınma dayanımını ve yumuşaklık gibi diğer özelliklerini de etkileyen bir faktördür.

Yapısında bulunan lif ve ipliklerin sürtünme davranışları doğrultusunda şekillenen kumaş sürtünmesi ise kumaşın gerilme özelliklerini ve mukavemetini, tutum ve konforunu, aşınma ve boncuklanma direncini, dökümlülüğünü, sıkıştırılabilirliğini etkilemektedir.

Sürtünme kuvvetinin olumlu yönlerinin yanı sıra olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Çünkü sürtünme kuvveti birbirine temas eden iki yüzey arasında oluşan ve cisimleri harekete geçirmek için aşılması gereken bir kuvvettir. Sürtünme kuvvetinin etkisiyle bazı cisimlerin sadece insan gücüyle yerinden kalkması mümkün olmamaktadır; araçlar hareketin devamı için daha fazla enerji harcamaktadır. Bunun

dışında makina parçalarının birbirine sürtünmesi sonucunda aşınma meydana gelmektedir.

Tekstil materyalleri için sürtünme kuvvetinin olumsuz yönlerinden birkaçı ise tekstil materyallerinin birbirine ve insan vücuduna sürtünmesi sonucu daha çabuk eskimesi, yüzey görünümünün değişmesi, delinmesi ya da yırtılması şeklinde sıralanabilir.

Günlük yaşamımızda sürtünme kuvvetinin azalması için bazı önlemler alındığı gibi tekstil materyallerinin üretimi ve kullanımı sırasında oluşan sürtünme kuvvetlerini azaltmak için de önlemler alınmaktadır. Tekstil yüzeylerinin sürtünme sonucu aşınmasını önlemek amacıyla farklı kullanım amaçları için yüzeylere kaplama yapılması ve çeşitli bitim işlemlerinin uygulanması tekstil uygulamalarına verilebilecek örneklerdir. Ayrıca dokuma kumaş oluşum sürecinde çözgü ipliklerinde sürtünmeyi azaltmak ve dolayısıyla çözgü ipliğinin mukavemetini arttırmak amacıyla yapılan haşıllama işlemi ve genellikle örme ipliklerine ve dikiş ipliklerine sürtünmeyi ve sürtünme kaynaklı iplik kopuşlarını azaltmak amacıyla yapılan parafinleme işleminin de sürtünmenin tekstil uygulamalarındaki olumsuz yönlerini azaltmak amacıyla yapıldığı bilinmektedir.

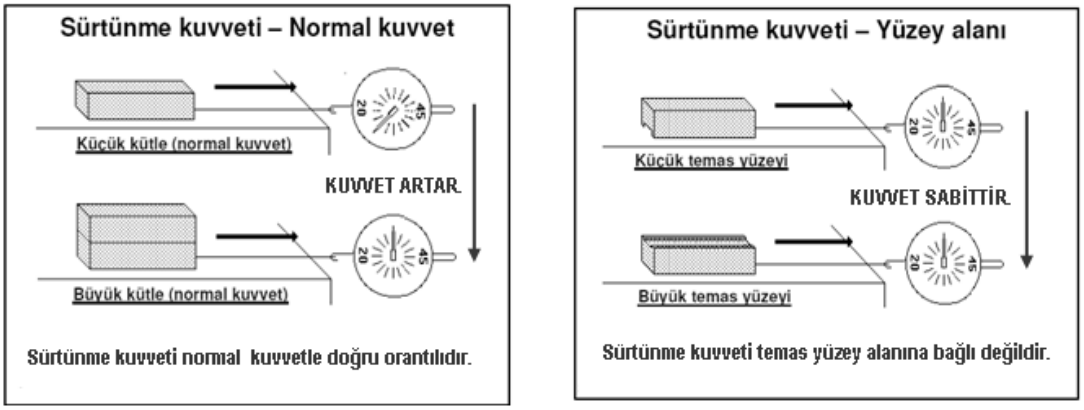
## 1.2 Sürtünme Kuvveti ve Sürtünme Katsayısı

Sürtünme kuvveti, genel olarak temas halindeki iki cismin arayüzeyinde, yüzeylerin bağıl hareketini engelleyici yönde etkiyen kuvvet şeklinde tanımlanmaktadır (Serway, 1992).

Sürtünme kuvveti;

- Sürtünen yüzeylerin cinsine bağlıdır; sürtünen yüzeylerin büyüklüğüne (temas yüzey alanına) bağlı değildir (Şekil 1.1).
- Yatay düzlemde cismin ağırlığıyla (normal kuvvetle) doğru orantılı değişir (Şekil 1.1).
- Daima harekete zıt yöndedir.

- Hareket ettirici bir özelliğe sahip değildir. Pasif kuvvettir ve var olan hareketi önlemeye yöneliktir (Serway,1992).



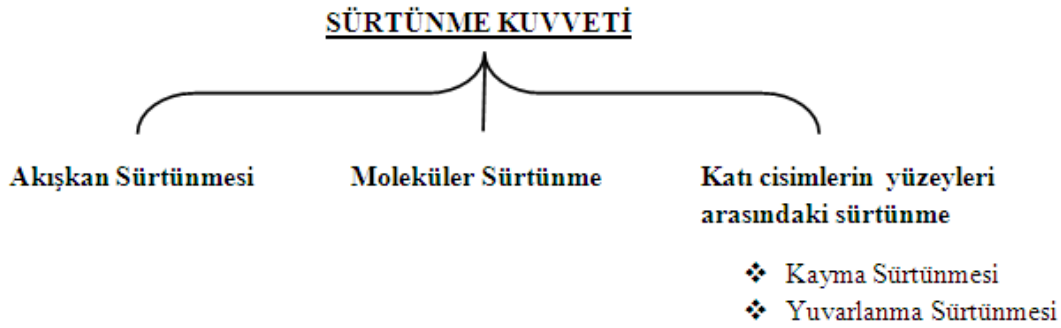

Şekil 1.1 Sürtünme kuvvetinin normal kuvvet ve sürtünme yüzeyi ile etkileşimi (http://tef.sdu.edu.tr/korkmaze/dinamik/Kinetik_Surtunme.pdf)

Sürtünme kuvvetinin kökeni iki cismin temas eden yüzeylerinde bulunan atom ya da moleküller arasındaki elektrostatik çekme kuvvetleridir. Bir materyali oluşturan atom veya moleküllerin toplam elektrik yükü nötr olsa da elektron alışverişi ve paylaşımı sonucunda bazı atom ya da moleküllerin bazı kısımlarında artı veya eksi yük fazlalıkları bulunur. Bu yerel yük dengesizlikleri atom ve moleküller arasında çekme kuvvetlerini oluşturmaktadır. Çekim kuvvetleri materyalleri bir arada tutan kuvvetlerdir. İki materyal temas ettirildiğinde her birinde var olan çekim kuvvetleri iki materyal arasında da oluşur ve sürtünme kuvveti ortaya çıkar. Cisimlerdeki atom ya da moleküller birbirine ne kadar yakınsa yani aralarındaki çekim kuvvetleri ne kadar fazlaysa sürtünme kuvveti de o kadar büyük olmaktadır. İki yüzeyin birbirine yakınlığını belirleyen kuvvet uygulanan yatay kuvvet değil; yüzeyler arasındaki normal kuvvettir ( http://www.biltek.tubitak.gov.tr).

Sürtünme kuvvetinin kökeni iki cismin temas eden yüzeylerinde bulunan atom ya da moleküller arasındaki elektrostatik çekme kuvvetleri olduğundan karmaşık bir kuvvettir ve kuramsal olarak hesaplanması mümkün değildir. Bu nedenle deneysel olarak ölçülebilmekte ve cisimlerin sürtünme özelliklerini inceleyen bilim dalına "triboloji" adı verilmektedir (Stachowiak ve Batchelor, 1993).

Sürtünme katsayısı ise iki yüzey arasındaki sürtünme kuvvetinin yüzeyler arasındaki normal kuvvete oranı olarak tanımlanmaktadır. Boyutsuz ve skaler bir değer olan sürtünme katsayısı kullanılan materyale göre değişmektedir.

Sürtünme kuvveti cisimlerin yapısına göre farklı şekillerde gerçekleşmektedir. Bu nedenle sürtünme kuvvetinin birden fazla çeşidi bulunmaktadır. Şekil 1.2'de sürtünme kuvvetinin çeşitleri görülmektedir.




Şekil 1.2 Sürtünme kuvvetinin çeşitleri
(http://tef.sdu.edu.tr/korkmaze/dinamik/Kinetik_Surtunme.pdf)

Akışkan sürtünmesi cismin sıvı veya gaz akışkan içerisinde hareket ederken karşılaştığı sürtünme çeşididir. Taşıtların hareketinde hava ile taşıt arasında oluşan sürtünme (hava direnci) akışkan sürtünmesine örnektir.

Moleküler sürtünme, katı cisimlerde moleküller arası bağları ve kuvvetle birlikte moleküllerin yer değiştirmesi nedeniyle oluşan sürtünme çeşididir. Moleküler sürtünme kuvveti katı cisimlerin yüzeyleri arasında oluşan sürtünme kuvvetini de etkilemektedir.

Katı cisimlerin yüzeylerinde oluşan sürtünme ise Şekil 1.2'de görüldüğü gibi kayma ve yuvarlanma sürtünmesi olarak sınıflandırılmaktadır. Kayma sürtünmesi bir yüzey üzerinde kayarak hareket eden cisimlerde oluşurken, yuvarlanma sürtünmesi bir yüzey üzerinde yuvarlanan cisimlerde görülmektedir. Kayma ve yuvarlanma sürtünmesinin aynı anda oluştuğu durumlar da bulunmaktadır. Materyallerin bir yüzey üzerinde yuvarlanmasının en büyük avantajı yuvarlanma sürtünmesi büyüklüğünün kayma sürtünmesi büyüklüğünden 2-3 kat daha küçük olmasıdır (Gupta, 2008).

Katı cisim yüzeylerinde meydana gelen sürtünmenin daha ayrıntılı incelenmesi için bazı tanımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan sonraki iki bölümde bu tanımlar ayrıntılı olarak verilmektedir.

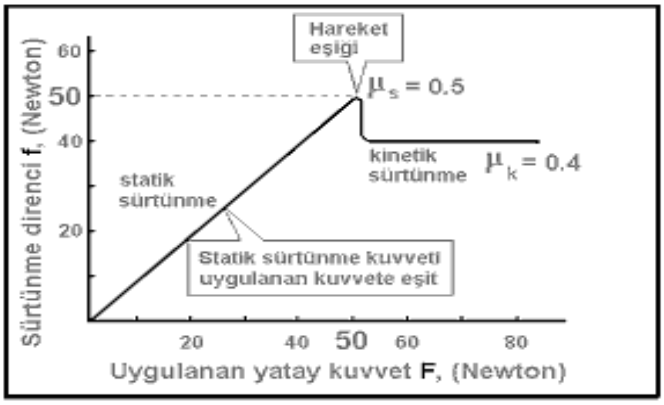
### *1.2.1 Statik ve Dinamik Sürtünme Kuvveti*

Bir cisme cismin hareket etmesine yetmeyecek kadar bir F kuvveti uygulandığında cisim yüzeyi ile zemin arasında f sürtünme kuvveti oluşmakta ve uygulanan kuvvet sürtünme kuvvetini yenemediği için cisim sabit kalmaktadır. Uygulanan yatay kuvvet arttırıldıkça cisim ile yüzey arasında oluşan sürtünme kuvveti (f) de artmaktadır. Ancak uygulanan yatay kuvvet belli bir değere ulaştığında sürtünme kuvveti daha fazla artmamakta ve uygulanan kuvvetin sürtünme kuvvetini yenmesi ile birlikte cisim harekete geçmektedir. Cismin harekete geçmesi ile birlikte sürtünme kuvveti bir miktar azalarak sabit hale gelmektedir.

Statik sürtünme kuvveti; temas halinde olan iki cisim birbirlerine göre durgun haldeyken oluşacak bağıl harekete karşı koyan kuvvettir. Statik sürtünme kuvvetinin büyüklüğü değişken olup, cisme o an uygulanan yatay kuvvete eşittir. Statik sürtünme kuvvetinin en büyük değeri, cismin harekete başlama anında(hareket eşiğinde) ortaya çıkmaktadır. Bu durum Şekil 1.3'te $45^{\circ}$ eğimli doğrusal kesim olarak görülmektedir. Statik sürtünme kuvveti hiçbir zaman sistemi dengede tutan kuvvetten büyük değildir. Statik sürtünme katsayısı($\mu_s$) sürtünme kuvvetinin olası en büyük değeriyle normal kuvvet arasındaki orandır. Statik sürtünme katsayısına, iki cisim arasında henüz bir hareket söz konusu olmadığı için "cismin dururken sahip olduğu sürtünme katsayısı" da denilmektedir (http://www.biltek.tubitak.gov.tr).

Dinamik sürtünme kuvveti ise cisim eşik değeri aşılınca devreye girmektedir ve büyüklüğü uygulanan yatay kuvvetten bağımsız olmakla birlikte normal kuvvetle orantılıdır. Dinamik sürtünme katsayısı($\mu_k$) ise hareket halindeki sürtünme kuvveti ile normal kuvvet arasındaki oran olmakla birlikte bu katsayıya "cisim hareket halindeyken sahip olduğu sürtünme katsayısı" da denilebilir. Şekil 1.3'ün devamındaki yatay doğrultuda dinamik (kinetik) sürtünme kuvveti görülmektedir. İki doğrusal bölge arasında, sürtünme kuvvetinde dolayısıyla da sürtünme katsayısında

bir azalma görülmektedir. Bu azalmanın nedeni hareketin başlamasıyla birlikte temas yüzeylerin üzerindeki pürüzlerin kısmen de olsa azalmasıdır (http://www.biltek.tubitak.gov.tr).




Şekil 1.3 Sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısının sürtünme grafiği üzerinde gösterimi (http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)

İki cisim arasındaki sürtünme katsayısı genellikle 0-1 arasında değişmekle birlikte bazı cisimlerde bu katsayı 4'e kadar çıkabilmektedir. Sürtünme katsayısı 0 ise cisim yüzeye temas etmiyor demektir. Tablo 1.1 'de bazı materyaller için sürtünme katsayıları, Tablo 1.2'de ise bazı tekstil lifleri için sürtünme katsayıları görülmektedir.

Tablo 1.1 Bazı materyaller için statik ve dinamik sürtünme katsayısı değerleri (Serway, 1992; http://www.biltek.tubitak.gov.tr)

| | **Statik ($\mu_s$)** | **Kinetik ($\mu_k$)** |
|---|---|---|
| Çelik üzerinde çelik | 0,74 | 0,57 |
| Çelik üzerinde alüminyum | 0,61 | 0,47 |
| Çelik üzerinde bakır | 0,53 | 0,36 |
| Beton üzerinde lastik | 1,0 | 0,80 |
| Tahta üzerinde tahta | 0,25-0,5 | 0,20 |
| Cam üzerinde cam | 0,94 | 0,40 |
| Metal üzerinde metal | 0,15 | 0,06 |
| Buz üzerinde buz | 0,10 | 0,03 |
| Teflon üzerinde teflon | 0,04 | 0,04 |
| Gümüş üzerinde gümüş | - | 1,40 |
| Kauçuk üzerinde katı cisim | 1-4 | 1-4 |
| İnsanda eklem bağlantıları | 0,01 | 0,003 |

Arayüzeyleri iyice temizlenmiş ve parlatılmış metallerde statik ve dinamik sürtünme katsayıları arasında bir fark görülmemektedir. Çünkü temas yüzeylerindeki geometrik girinti ve çıkıntılar giderilmiştir ve safsızlık veya kirlilikler yok edilmiştir. Ancak sürtünme kuvveti karmaşık bir kuvvet olduğundan bu durum için bir genelleme yapılması mümkün olmamaktadır. İki cisim arasındaki temas yüzeyinin daha pürüzsüz ve temiz hale getirilmesi, sürtünme kuvvetinin her koşulda azalacağı anlamına gelmemektedir. Aynı metalden iki parçanın arayüzeyleri yeterince temizlendiğinde ve arayüzeydeki geometrik girinti ve çıkıntılar yok edildiğinde aralarındaki sürtünme kuvveti azalmayıp iki parçayı tek bir metal parçası haline getirecek kadar artmaktadır. Bu işlem metallerin birleştirilmesinde kullanılan "soğuk kaynak" yönteminin temelini oluşturmaktadır (http://www.biltek.tubitak.gov.tr). Bölüm 1.2'de bahsedilen moleküller arası sürtünme burada devreye girmektedir.

Tablo1. 2.Bazı lifler için statik ve dinamik sürtünme katsayısı değerleri (Morton ve Hearle, 2008)

| **Sürtünme katsayısı** | **Statik ($\mu_s$)** | **Kinetik ($\mu_k$)** |
|---|---|---|
| Rayona karşı rayon[1] | 0,35 | 0,26 |
| Rayona karşı rayon[1] | 0,22 | 0,14 |
| **Yüne karşı yün** | | |
| Pulcuk yönünde | 0,13 | 0,11 |
| Pulcuklara karşı | 0,61 | 0,38 |
| Aynı yönde lifler | 0,21 | 0,15 |
| **Rayona karşı yün** | | |
| Pulcuk yönünde | 0,11 | 0,09 |
| Pulcuklara karşı | 0,39 | 0,35 |
| **Naylona karşı yün** | | |
| Pulcuk yönünde | 0,26 | 0,21 |
| Pulcuklara karşı | 0,43 | 0,35 |
| Naylona karşı naylon | 0,47 | 0,40 |

[1] Tablo 1. 2'de rayona karşı rayon lifinin iki ayrı sürtünme katsayısı değerleri verilmektedir. Bunun nedeni daha önce de belirtildiği gibi sürtünme katsayısının sadece deneysel olarak belirlenmesi ve ölçüm için hazırlanan örneklerin birbirinin aynı olmamasından dolayı farklı sonuçlar elde edilmesidir.

### *1.2.2 Stick-Slip Kavramı ve Önemi*

Statik ve dinamik sürtünme kuvvetini inceledikten sonra sürtünme grafikleri incelendiğinde hemen hemen bütün materyallerin sürtünmesi sırasında ortaya çıkan bir kavram olan stick- slip hareketini açıklamak yerinde olacaktır.

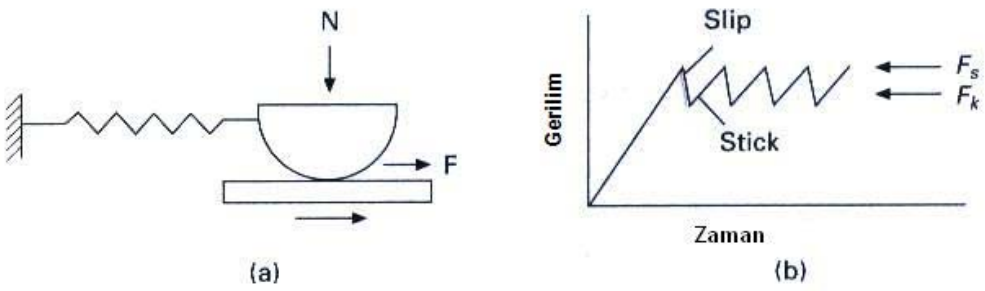
Bir cismi harekete geçirmek için gereken kuvvet hareketin devamı için gereken kuvvetten daha büyüktür. Teğetsel gerilmeler sonucu bağlantı noktalarının büyümesi, yüzey atomlarının karşılıklı etkileşimi sonucu bağlantı noktalarının güçlenmesi bu farklılığın temel nedenlerindendir. Sürtünme kuvveti değerlerinde meydana gelen bu değişim sürtünmeyi kesikli hale getirmekte ve stick-slip ifadesi ile tanımlanmaktadır (Gupta, 2008). Dilimizde tam karşılığı bulunmayan bu kavram Türkçe literatürde de "stick-slip" ifadesi ile karşımıza çıkmaktadır.

Stick-slip kavramı pürüzlü yüzeylerde cismin pürüzlere takılmasıyla birlikte sürtünme kuvvetinde artma ya da azalma görülmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Stick-slip hareketinin olması durumunda dinamik sürtünme katsayısı statik sürtünme katsayısından büyük olmaktadır ($\mu_s > \mu_k$). Stick- slip hareketi olması durumunda sürtünme katsayıları arasında meydana gelen bu fark temas yüzeyinin farklılığından kaynaklanmaktadır. Statik sürtünme, daha yakın temas yüzeyi ile ilişkilendirilmektedir. Ancak yüksek hızlarda aralıklarla meydana gelen bu hareket yok olacağından dinamik ve statik sürtünme katsayıları birbirine eşittir (Hong ve Jayanaraman, 2003).

Stick-slip büyüklüğüne etkiyen faktörler arasında materyallerin viskoelastik özellikleri, hız, ölçüm gerçekleştirilecek cihazın elektromekanik sisteminin viskoelastik özellikleri sayılabilmektedir (Gupta, 2008).

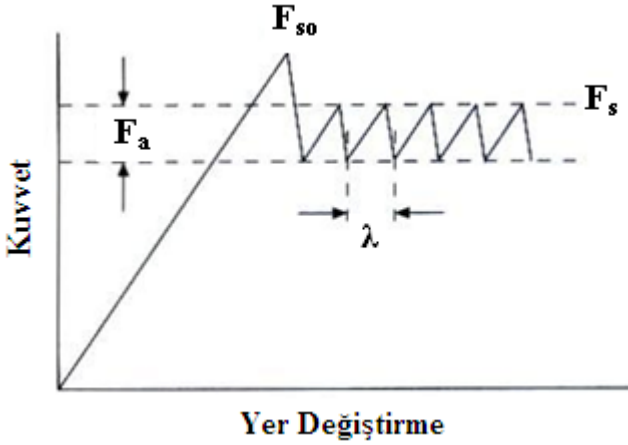
Stick-slip hareketini ölçmek için yatay düzlemde hareket eden bir platform üzerine bir cisim yerleştirilir ve cisim bir tarafından yaya bağlanır. Yayın sabit ucuna bağlanan yük hücresi (loadcell) sayesinde yayın uzaması ve uzama aracılığıyla sürtünme kuvveti belirlenir. Platformun hareketiyle birlikte üzerindeki cisim yaydaki

gerginlik, statik sürtünme kuvvetinden büyük olduğu sürece platformla birlikte hareket eder. Statik sürtünme kuvveti ($F_s$), yaydaki gerginlik aştığı anda cisim, yaydaki gerilim dinamik (kinetik) sürtünme kuvveti ($F_k$) büyüklüğüne düşene kadar hızlanarak geriye doğru hareket eder ($F_k < F_s$). Eylemsizlik nedeniyle cisim, yaydaki gerilim(F) dinamik sürtünme kuvvetinden küçük olana kadar hareketine yavaşlayarak devam eder. Bu noktadan sonra cisim ilk hareketteki gibi statik sürtünme kuvvetine kadar tekrar platformla birlikte hareket etmeye başlar. Şekil 1.4'te stick-slip hareketinin ölçüldüğü düzenek ve gerginliğin kaydedildiği grafik bulunmaktadır. Şekil 1.4'te görüldüğü gibi slipping (kayma) fazındaki eğri sticking (tutma, yapışma) fazındaki eğriden daha diktir.




Şekil 1.4 (a) Stick-slip düzeneği, (b) Gerginlik profili (Gupta, 2008)

Tekstil materyallerine ait kuramsal stick- slip hareketi ve bu hareketin parametreleri Şekil 1.5'te görülmektedir.




Şekil 1.5. Tekstil materyalleri için kuramsal sürtünme adımları ve stick-slip hareketi (Gupta, 2008)

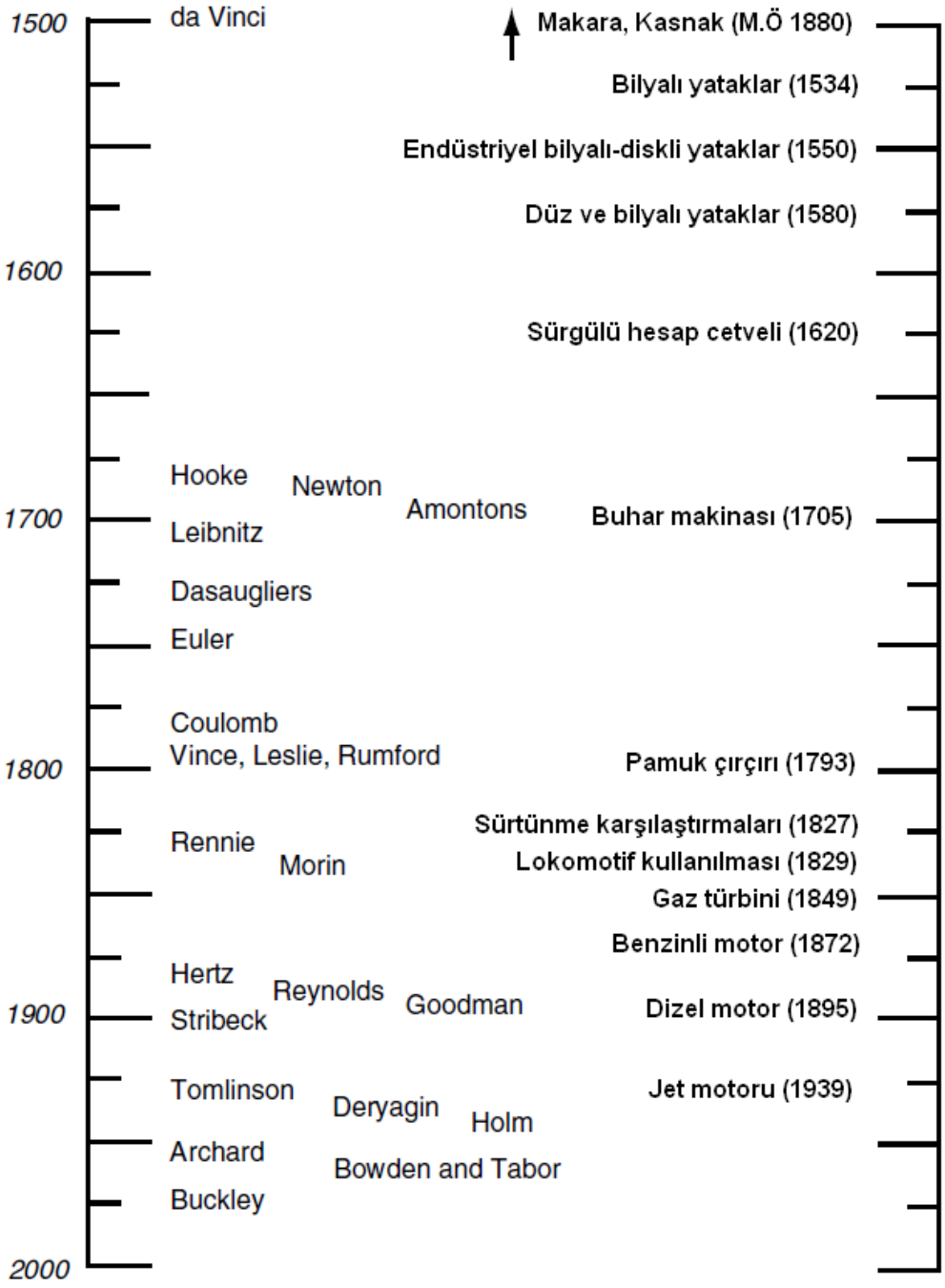
Grafikte $F_{so}$ cismin kaymaya başladığı andaki statik sürtünme kuvvetini göstermektedir ve en büyük kuvvet değeridir. $F_{so}$ değerinden sonra kuvvet, tepe noktaları(slip hareketinin başladığı an) ve çukurlarda (stick hareketin başladığı an) salınım hareketi yaparak ilerlemektedir. İlk tepe noktası hariç diğer tepe noktalarının ortalaması statik sürtünme kuvvetini ($F_s$) vermektedir. Tepe noktaları ve çukur noktalar arasındaki hareketin ortalaması ise dinamik sürtünme kuvvetini ($F_k$) vermektedir. Dinamik sürtünme kuvveti $F_s$-$5F_a$' ya eşit olmaktadır. $F_a$, grafikte meydana gelen titreşimlerin genliğidir. $\lambda$, dalga boyunu ifade etmektedir ve $\lambda^{-1}$ tepe noktalarının sıklığını ($F_f$) göstermektedir (Gupta, 2008).

Diğer bütün materyallerde olduğu gibi tekstil materyallerinde oluşan stick-slip hareketi de sürtünmenin karakteristiğinin anlaşılması için büyük önem taşımaktadır. Kumaşlardaki stick-slip hareketini kumaşı oluşturan ipliklerin yüzey özellikleri ve sıklığı, bağlantı noktası sayısı ve kumaşlara uygulanan bitim işlemleri etkilemektedir. Kumaş yüzeyinin düzgünlüğü için gerçekleştirilen bitim işleminin etkinliğini değerlendirmede stick-slip hareketinin genliğini karşılaştırmak en etkili yöntemdir (Hong ve Jayanaraman, 2003).

### 1.3 Sürtünme Teorileri

Sürtünme kuvveti daha önceden de belirtildiği gibi karmaşık bir kuvvettir ve yalnızca deneysel olarak belirlenmektedir. Bu nedenle bugüne kadar birçok araştırmacı bu kuvvetle ilgilenmiş ve çeşitli teoriler geliştirmiştir. Bu bölümde bütün materyaller için geliştirilen teorilere yer vermek mümkün olmayacağından temel sürtünme teorilerine değinilecektir. Ayrıca tekstil materyalleri için geliştirilen sürtünme teorilerinden yaygın olarak kullanılan teorilere yer verilerek tez kapsamında ölçümlerin gerçekleştirileceği cihazda da kullanılan Capstan Formülü'ne (Euler Denklemi) de yer verilecektir.

Sürtünme ile ilgili ilk çalışmalar 15. yüzyılın ortalarında Leonardo da Vinci tarafından başlatılmıştır (Blau, 2009; Kurbak, 1990)Şekil 1.6'da sürtünme konusundaki ilk çalışmalar, çalışan kişiler ve yaşadıkları tarihle paralel teknolojik gelişmeler görülmektedir.




Şekil 1.6 Sürtünme ile ilgili ilk buluşlar ve teknolojik gelişmeler (Blau, 2009)

Amontons 1699 yılında sürtünme katsayısını (μ), cismi hareket ettirmek için gereken yatay kuvvetin (F) cismin ağırlığına (N) oranı şeklinde ifade etmiştir (Eşitlik 1.1).

$$\mu = \frac{F}{N} \tag{1.1}$$

Amontons tarafından ifade edilen bu eşitlik iki temel kuralla açıklanmaktadır:

1. Bir cisim yatay bir düzlem ile temas halinde ise, bu cismi hareket ettirmek için gereken yatay kuvvet (F), cismin ağırlığı (W), yani normal yük (N), ile orantılıdır ve belirli cisim çifti için bu oran(sürtünme katsayısı) sabittir.

2. F kuvveti iki yüzey arasındaki temas alanından bağımsızdır.

18. yüzyılda Coulomb sürtünmeyi daha ayrıntılı incelemiş ve gereken statik ve dinamik sürtünmeyi tanımlayarak hareketi başlatmak için gereken statik sürtünme kuvvetinin hareketin devamı için gereken dinamik (kinetik) sürtünme kuvvetinden daha büyük olduğuna dikkat çekmiştir. Dinamik sürtünmenin kayma hızına bağlı olmadığı belirtilmiştir ki bu durum sürtünmenin üçüncü yasası olarak da adlandırılmaktadır (Gupta, 2008; Morton ve Hearle, 2008; Okur, 2002,).

19. yüzyılın sonuna kadar araştırmacılar Coulomb'un teorisini kabul etmişlerdir ve uygulamadaki problemleri bu formülle çözmüşlerdir (Gupta, 2008; Okur,2002). Fakat Vince yüzeyler arasındaki adhezyon ve kohezyonun sürtünmeye katkıda bulunduğunu düşünmüştür. Vince'e göre, hareketsiz yüzeylerde kohezyonun tam bir etkisi gözlenirken, hareket başladıktan sonra pürüzlülük faktörü gözlenmektedir ve bu da kinetik sürtünme katsayısı ($\mu_k$)< statik sürtünme katsayısı ($\mu_s$) gözlemlerini açıklamaktadır (Gupta, 2008; Okur, 2002).

Yapılan araştırmalar sonucunda Amontons formüllerinin metaller gibi yüksek elastisite modülüne sahip materyaller için geçerli olduğu ve tekstil materyalleri gibi viskoelastik ve elastik yapılar için yetersiz kaldığı gözlenmiştir. Çünkü klasik sürtünme yasasına sadık kalınırsa, sürtünme katsayısı temas yüzeyi ve yüzey pürüzlülüğünün değişimi ile değişmeyecektir. Tekstil materyalleri için yapılan birçok deneysel çalışmada normal yükün artması, görünen temas yüzeyinin azalması ve yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla sürtünme katsayısının düştüğü görülmüştür (Gupta 2008; Hong, 2000).

Bu nedenle diğer materyallerde olduğu gibi tekstil materyallerinde de sürtünmeyi inceleyen birçok araştırma yapılmış ve sürtünme davranışını Amontons formülünden daha iyi açıklayacağı düşünülen denklemler önerilmiştir.

Amontons yaptığı çalışmalarda sürtünmenin bir yüzeyin diğer yüzeyin pürüzlerinden geçirmek için gereken kuvvet nedeniyle oluştuğunu söylerken, diğer araştırmacılar sürtünme kuvvetinin iki yüzey arasındaki çekim kuvveti ve elektrostatik kuvvetlerden kaynaklandığını belirtmişlerdir (Gupta, 2008; Hong ve Jayanaraman, 2003).

Sürtünme kuvveti kaymanın başlayabilmesi için bağlantı noktalarını aşacak kuvvet olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım da adhezyon- kesme teorisini ortaya çıkarmıştır. Bu teoriye göre sürtünme davranışı mikroskobik olarak incelendiğinde bütün yüzeyler pürüzlüdür ve iki yüzey birbiriyle temas halindeyken bir yükle bastırılırsa sadece birbirine değen pürüzlerde (asperitlerin tepe noktalarında) temas oluşmaktadır.

Bu durumda asperitleri aşmak için gereken kuvvet

$$F = SA \tag{1.2}$$

ile hesaplanmaktadır.

Eşitlik 1.2'deki kuvvet(F) iki yüzey arasındaki gerçek temas alanındaki (A) kesme kuvvetlerinin (S) toplamına eşittir.

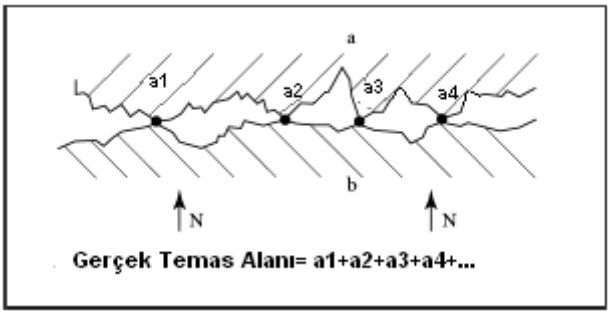
Gerçek temas alanı (A) ise

$$A = \sum A_i = \sum \frac{N_i}{P_y} = \frac{N}{P_y} \tag{1.3}$$

Eşitlik 1.3'te N, normal kuvvet; $P_y$, çökme basıncıdır. (akma noktasındaki basınç, yield pressure)

Cismin sürtünme kuvvetini yenerek yüzeyden kayabilmesi için güçlü asperitler yok edilmelidir (Hong,2000). Şekil 1.7'de gösterilen gerçek temas alanı (asperitler

toplamı) ne kadar küçükse kaymanın gerçekleşebilmesi için o kadar az yük gerekecek ve buna bağlı olarak sürtünme katsayısı da düşecektir.




Şekil 1.7 Cisim yüzeylerindeki asperitler (ASTM Digital Library)

Adhezyon –kesme teorisi Amontons formülü ile birleştirilirse;

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{\frac{S}{P_y}}{N} N \qquad \mu = \frac{S}{P_y} \tag{1.4}$$

Eşitlik 1.4'te S, basınçla birleşen materyalin kesme kuvvetidir. Sonuç olarak sürtünme kuvveti asperitlerin sayısından ve dağılımından bağımsızdır (Gupta, 2008; Hong ve Jayanaraman, 2003).

Metal yüzeyler arasında sürtünme ile aşınma oluşmaktadır. Buna karşılık plastik materyallerin, liflerin ya da ipliklerin birbiri ile sürtünmesi sonucu metallerde olduğu gibi kalıcı deformasyon olmayıp basınç noktalarında elastik deformasyon meydana gelmektedir. Bu yüzden gerçek temas alanı normal kuvvetle doğru orantılı olmayıp, bu kuvvetin 1'den küçük bir kuvveti ile ($R^n$) doğru orantılıdır (Başer, 2008)

Bu nedenle Bowden ve Young tarafından metal olmayan materyaller için kullanılan formül ilk kez Lincoln, Howell ve Mazur tarafından liflere uygulanmıştır. Araştırmacılar tekstil materyalleri için daha genel ampirik bir formül önermişlerdir (Gupta, 2008; Pastore ve Kiekens, 2001; Hong ve Jayanaraman, 2003):

$$F=aR^n \tag{1.5}$$

$$\mu=aR^{n-1} \tag{1.6}$$

Eşitlik 1.5 ve 1.6'da belirtilen a, sürtünme sabiti ve n, sürtünme indeksidir. Sürtünme indeksi yüzeylerin geometrik konfigürasyonuna bağlı, sürtünme sabiti ise yüzeylerin boyutlarının, şeklinin ve temas yüzeyindeki pürüzlerin (asperit) mekanik özelliklerinin bir fonksiyonudur. Bu eşitlik normal yükün artmasıyla sürtünme katsayısının azaldığını göstermektedir.

Eşitlik 1.6'da belirtilen ampirik formül, temas alanı ve normal yük arasındaki ilişkiyi açıklamaya yöneliktir. Burada gerçek temas alanı (A), $R^k$ ile orantılıdır. (k=sabit) Asetat, rayon ve naylon için k değeri 0,72- 0,75 arasında olup n değerlerinden (0,8-0,96) daha düşüktür (Pastore ve Kiekens, 2001).

Sürtünme sabiti olan a ve n değerlerini belirlemek amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından deneyler yapılmıştır ve bu değerlerin materyal ve test koşulları ile değiştiği belirtilmiştir (Pastore ve Kiekens, 2001).

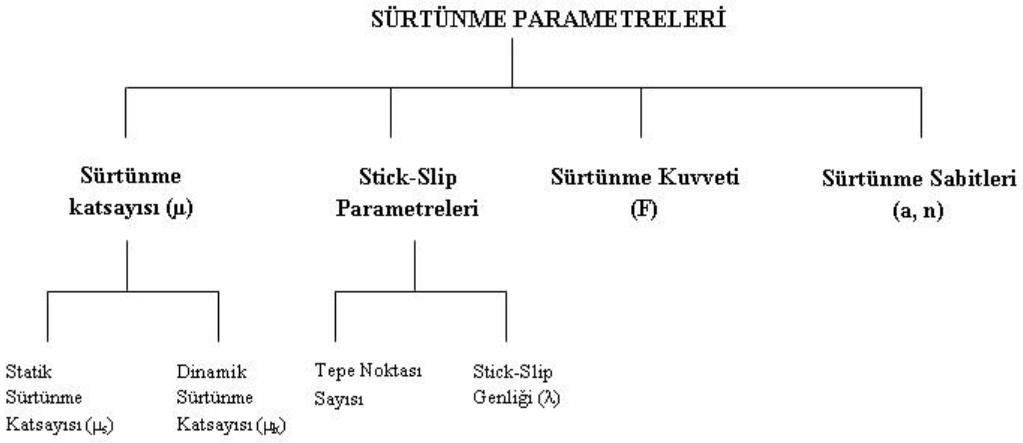
Mazur'un lifler için deneysel olarak belirlediği "n" katsayısına ait değerler Tablo 1.3'te verilmektedir.

Tablo 1.3 Lifler için bulunan sürtünme indeksi (n) değerleri ($90^0$ açı- dikey durumdaki lifler yatay durumdaki lifler üzerinden akmakta iken) (Morton ve Hearle, 2008)

| | **Asetat** | **Naylon** | **Viskoz Rayon** | **Terilen Polyester** | **Yün*** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Asetat** | 0,94 | 0,89 | 0,90 | 0,86 | 0,92 |
| **Naylon** | 0,86 | 0,81 | - | - | - |
| **Viskoz Rayon** | 0,89 | 0,55 | 0,91 | 0,88 | 0,87 |
| **Terilen Polyester** | 0,88 | - | - | - | - |
| **Yün*** | 0,88 | 0,86 | 0,92 | 0,86 | 0,90 |
| *Yün için bulunan değerler pulcuk yönünde ve pulcuklara karşı bulunan değerlerin ortalamasıdır. | | | | | |

Yapılan araştırmalar sonucunda temas alanı kesin olarak belirlenmese de, lifler ve polimerler için adhezyon- kayma mekanizmasının geçerliliği kanıtlanmıştır (Gupta, 2008).

Daha sonraki yıllarda Hong ve Jayaraman (2003), Bölüm 1.2.2 ve Bölüm 1.3'te bulunan parametrelerin tamamını Şekil 1.8'de görüldüğü gibi tekstil materyallerinin sürtünme davranışını etkileyen parametreler olarak tanımlayarak bu parametrelerin analizinin kumaşın yapısal parametreleriyle (kumaş sıklığı ve kesişme sayısı) ilişkilendirilebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca stick-slip parametrelerindeki tepe noktası sayısının, kumaşın pürüzlülüğü üzerinde bitim işlemlerinin etkisini değerlendirebilecek en belirleyici faktör olduğunu ifade etmişlerdir.

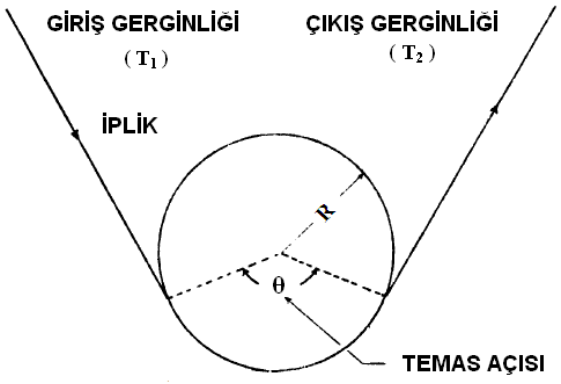



Şekil 1.8 Tekstil materyalleri için sürtünme parametreleri (Hong ve Jayanaraman, 2003)

Bu bölümde belirtilen eşitliklerin tamamı tekstil materyallerinin düzlemsel yüzeylere teması söz konusu iken geçerlidir. Ancak tekstiller, özellikle de iplikler üretim işlemleri ve kullanımları sırasında sadece düzlemsel yüzeylerle temas etmemekte, dairesel yüzeylerle temas da söz konusu olmaktadır. Bir ipliğin düzlemsel olmayan bir kılavuz ya da silindir etrafından geçmesi durumu gibi temas yüzeyinin düzlem olmadığı durumlarda ise Amontons formülü özelleştirilerek kullanılmakta ve Eşitlik 1.7'ye göre ipliklerin sürtünme davranışları belirlenmektedir (Başer, 2008; Kurbak, 1990).

$$T_2=T_1e^{\mu\theta} \tag{1.7}$$

Bu durumda ipliğin silindir etrafından geçişi "Capstan Problemi" olarak tanımlanmakta ve Eşitlik 1,7'deki $T_2$ ipliğin hareket yönündeki gerginliğini (çıkış gerginliğini), $T_1$ giriş gerginliğini ve $\theta$ temas açısını göstermektedir. Şekil 1.9'da temas açısı gösterilmektedir.




Şekil 1.9.Temas açısının şematik gösterimi (ASTM D 3108-01)

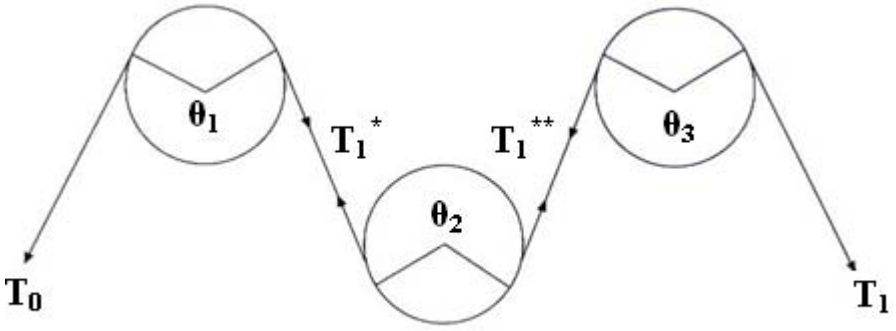
Tablo 1.4'te θ temas açısı ve sürtünme katsayısının değişimiyle ($T_2/T_1$) oranının değişimi gösterilmektedir:

Tablo 1.4 Temas açısı ve sürtünme katsayısı değişimi ile ($T_2/T_1$) değişimi (Gupta, 2008)

| **$(T_2/T_1)=e^{\mu\theta}$ değerleri** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **θ= π/2** | **θ= π** | **θ= 2π** | **θ= 4π** |
| **μ= 0,2** | 1,4 | 1,9 | 3,5 | 12,3 |
| **μ= 0,5** | 2,2 | 6,0 | 22,9 | 525 |
| **μ= 1,0** | 6,0 | 22,9 | 525 | 270000 |

İpliğin birden fazla silindirden geçmesi durumunda (Şekil 1.10) Capstan formülü Eşitlik 1.8'deki şekliyle uygulanmaktadır:

$$T_1 = T_1^{**} e^{\mu\theta_3} = T_1^{*} e^{\mu(\theta_2+\theta_3)} = T_0 e^{\mu(\theta_1+\theta_2+\theta_3)} = T_0 e^{\mu\sum\theta_i} \qquad (1.8)$$



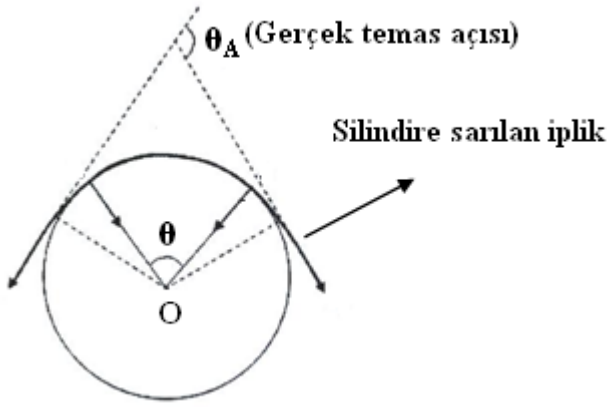

Şekil 1.10 İpliğin birden fazla silindirden geçmesi (Gupta, 2008)

Howell (1953), bir silindir üzerinden geçen gerginlik farkı problemini Eşitlik 1.5'i ($F=aR^n$) formülünü kullanarak yeniden çözmüştür (Başer, 2008). Bazı araştırmacılar da Tablo 1.5'te görüldüğü gibi Mazur'un düzlemsel temas için deneysel olarak belirlediği "n" katsayısına ek olarak liflerin ve ipliklerin silindirlerden geçmesi durumu için de "n" katsayısı hesaplamışlardır (Morton ve Hearle, 2008).

Tablo 1.5 İpliklerin/liflerin silindirlerden geçmesi durumunda "n"değerleri (Morton ve Hearle, 2008)

| | **n değerleri** |
|---|---|
| Monofilament naylon cam silindirden geçirildiğinde | 0,91 |
| Asetat iplik krom kaplanmış silindirden geçirildiğinde | 0,80 |
| Yün lifi yünlü kumaş kaplanmış silindirden geçirildiğinde | 0,75 |

Bugüne kadar yapılan çalışmaların çoğunluğunda lif ya da ipliğin yeterince esnek olduğu düşünülerek, rijitlik hesaba katılmadan formüller türetilmiştir. Rijitliğin göz önüne alınması durumunda gerçek temas açısı dikkate alınarak formüllerin yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Çünkü rijitlik dikkate alınırsa lif ya da ipliğin silindire değdiği noktada iplik ya da life teğet bir doğru parçası değil de, bir eğri oluşmakta ve gerçek temas açısı ( $\theta$), görünen temas (sarım) açısından ( $\theta_A$) daha küçük olmaktadır (Şekil 1.11).




Şekil 1.11 İpliklerin rijitlikleri hesaba katıldığında temas açısı (Başer, 2008)

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada da ipliklerin tamamen esnek materyaller olduğu düşünülerek rijitlikleri dikkate alınmamıştır.

## 1.4 Tekstil Materyallerinde Sürtünme

Tekstil materyallerinde sürtünme, ürünü oluşturan hammaddeler dikkate alındığında sürtünen yüzey açısından lif sürtünmesi, iplik sürtünmesi ve kumaş sürtünmesi şeklinde sınıflandırılmaktadır. Tekstil materyalleri kendi aralarında sürtünerek lif- lif, iplik-iplik, kumaş-kumaş sürtünmesini oluştururken diğer yüzeylerle sürtünerek lif- materyal, iplik-materyal ve kumaş-materyal sürtünmesini oluştururlar. Hammaddeler açısından sürtünme kuvvetinin bu şekilde sınıflandırılmasının sebebi, iplik için hammaddenin lif, kumaş için hammaddenin iplik, konfeksiyon ürünü için ana hammaddenin kumaş olmasından kaynaklanmaktadır. Bütün tekstil materyalleri doğadaki tüm materyallerde olduğu gibi sürtünme kuvvetleri etkisi altında kalmaktadır. Tekstillerde kimi zaman istenen kimi zaman da istenmeyen bir durum olan sürtünme liften kumaşa kadar bütün tekstil materyallerinde ortaya çıkmaktadır. Sürtünme bütün işlemler boyunca yapılan işlemlerin etkinliğini etkilemekle birlikte, oluşan ürünün kalitesini ve performansını da etkileyeceğinden son derece önemli bir özelliktir.

### *1.4.1 Lif Sürtünmesi*

Lif sürtünmesi, iplik üretimi sırasında çekim işlemleri boyunca liflerin davranışını etkileyen faktörlerden biridir. Lif sürtünmesi tarama, çekim ve eğirme işlemlerinde etkin rol oynamaktadır. Liflerde oluşacak yüksek sürtünme çekime izin vermek ve lif mukavemetinin iplik mukavemetine etkin bir şekilde transferini sağlamak için gerekli iken, düşük sürtünme ipliklerin kılavuzlardan kolay geçişini sağlamak, liflerdeki ve sürtünen yüzeylerdeki aşınmayı minimuma indirmek için gereklidir (Canbaz Karakaş ve Parlar, 2007). Lif sürtünmesi kesikli liflerden yapılan ipliklerde lifler arası kohezyonu, dolayısıyla iplik mukavemetini, lif ve ipliklerin hareketi sırasında oluşan gerilmeleri, çeşitli tekstil makinalarındaki kılavuzların aşınmasını, kumaşın keçeleşme ve çekme değerlerini bununla birlikte kumaşın tutumunu etkilemektedir (Okur, 2002). Bunun yanında liflerin sürtünme özellikleri, ipliğin ve kumaşın sürtünme davranışını da etkilemesi sebebiyle üzerinde durulması gereken

bir konudur. Tekstil materyallerinde sürtünme ile ilgili çalışmalar ilk yıllarda lifler üzerine yoğunlaşmıştır.

### *1.4.2 İplik Sürtünmesi*

İplik sürtünmesi, işlemler boyunca iplik davranışlarını belirlemesinin yanı sıra üretilen kumaşın eğilme, gerilme, sürtünme özellikleri gibi temel özelliklerini ve iplik tüylülüğü ile birlikte boncuklanma oluşumunu, aşınma ve giyim dayanımını, yumuşaklık gibi diğer özelliklerini de etkileyen bir faktördür. Bölüm 1.5'te iplik sürtünmesi ile ilgili daha ayrıntılı bilgi verilecektir.

### *1.4.3 Kumaş Sürtünmesi*

Kumaş sürtünmesi kumaşın gerilme özelliklerini, tutumunu, konforunu, aşınma ve boncuklanma direncini, dökümlülüğünü, sıkıştırılabilirliğini ve çekme davranışını etkilemektedir (Hong ve Jayanaraman, 2003).

Kumaşlar için hesaplanan sürtünme katsayısı kumaşın konfor özelliklerini ve yüzey düzgünlüğünü tahminlemede kullanılan bir parametredir. Ancak yalnızca sürtünme parametreleri ile bir tahminleme yapılamamaktadır (Hong ve Jayanaraman, 2003) .

Kumaş sürtünmesi ile ilgili yapılan çalışmaların bir kısmında kumaş-kumaş sürtünmesi incelenirken bir kısmında da kumaşın kumaş olmayan bir yüzeye sürtünmesi incelenmiştir.

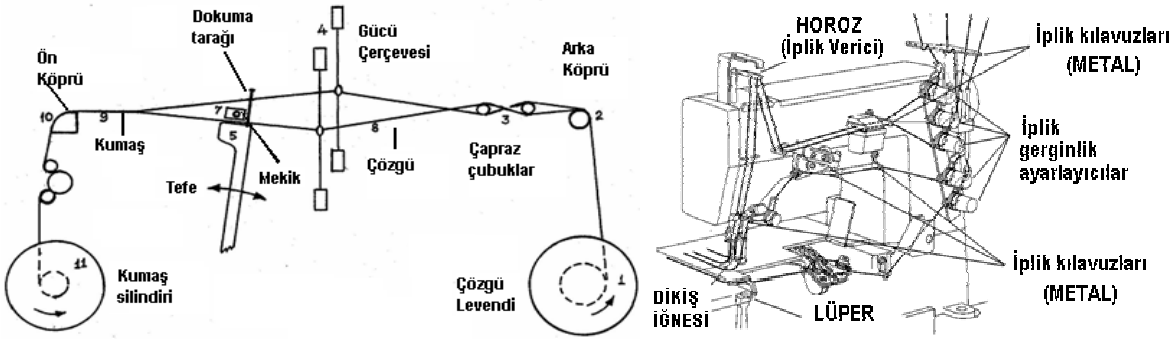
## 1.5 İplik Sürtünmesi ve İplik Sürtünmesini Etkileyen Faktörler

İpliklerin ipliklere ve diğer materyallere sürtünmesi, ipliklerin üretimi ve kumaş oluşumu sırasındaki davranışları ile kumaş içerisindeki davranışlarını belirleyen en önemli faktörlerdendir. İplik sürtünmesi gerek iplik üretimi, gerekse kumaş oluşumu ve kullanımı sırasında ön plana çıkan özelliklerden biridir. Kimi zaman istenen kimi

zaman da istenmeyen yüzey sürtünmesi, iplik oluşumundan son ürünün oluşumuna kadar tekstillerin tüm üretim aşamalarında ortaya çıkmaktadır. Bu sürtünme sonucu ipliğin ve dolayısıyla bu iplikten oluşturulan kumaşın fiziksel, mekanik ve yüzey özelliklerinde birtakım değişiklikler meydana gelmektedir. İplik henüz oluşum aşamasında iken çeşitli yüzeylerle sürtünmekte ve bobine sarıldığı anda da iplikler kendi aralarında sürtünmeye devam etmektedir. Kumaş üretimi açısından bakıldığında ise, ipliğin sürtünme özelliklerindeki değişim iplik gerginliğinde değişimlere sebep olmakta, ortaya çıkan bu durum ise ipliğin az ya da çok veya gevşek ya da sıkı olarak üretime beslenmesi ile kalite problemlerine neden olmaktadır. Kumaş oluşumundan sonra ise kumaş yapısı içerisindeki iplikler temas yüzeylerinde birbiriyle sürtünmeye devam etmektedir. Bunun dışında iplik sürtünmesinin önemli olduğu diğer bir üretim aşaması ise konfeksiyon aşamasıdır. Konfeksiyon işlemleri sırasında kumaşlar bitmiş ürünü meydana getirmek için birleştirilmektedir. Bu aşamada ise iki kumaşı birbirine birleştiren dikiş ipliği dikiş makinalarında iğne v.b diğer yüzeylerle sürtünmekte bunun yanında kumaş içerisinde ilerlerken iplik- iplik sürtünmesi oluşmaktadır.

İplik sürtünmesi sürtünen yüzey açısından iplik-iplik ve iplik-materyal (literatürde genel olarak iplik- metal sürtünmesi olarak tanımlanmaktadır.) sürtünmesi olarak sınıflandırılmaktadır. İplik-metal sürtünmesinin yanı sıra iplik-seramik sürtünmesi de iplikler söz konusu olduğunda karşımıza en çok çıkan sürtünme çeşitlerindendir.

Şekil 1.12a ve Şekil 1.12b'de görüldüğü gibi iplikler, dokuma kumaş üretiminin ilk aşaması olan dokuma tezgahında da, üretimin son aşaması olan konfeksiyon işleminde de birbirlerine ve diğer yüzeylere sürekli temas halindedir. Şekil 1.13'te üretim ve kullanım sırasında meydana gelebilecek olan iplik-iplik, iplik-metal ve iplik-seramik sürtünmeleri sürtünmenin oluşum aşaması için örnekler bulunmaktadır.




**(a)** **(b)**

Şekil 1.12 a), Dokuma tezgahında, b) Dikiş makinasında ipliklerin sürtündüğü yüzeyler

## İPLİK SÜRTÜNMESİ

### İPLİK-İPLİK SÜRTÜNMESİ

**İplik oluşum aşamasında**

- İplik sarım işlemleri sırasında birbirleri ile
- Bobinleme işlemleri sırasında birbirleri ile
- Katlı iplik üretiminde katlama işlemlerinde birbirleri ile
- Bobin boyama işlemlerinde

**Kumaş oluşum aşamasında**

- Dokuma ve örme kumaşlarda kumaş yapısı içerisinde birbirleri ile
- Dokuma kumaş oluşumunda ön ağızlıkta birbirleri ile
- Dokuma kumaş oluşumunda atkı atımı sırasında birbirleri ile

**Konfeksiyon aşamasında**

- Dikim işlemleri sırasında dikiş ipliği ile

**Kullanım aşamasında**

- Kumaş yapısı içerisinde birbirleriyle

### İPLİK-METAL SÜRTÜNMESİ

**İplik oluşum aşamasında**

- Eğirme işlemleri sırasında makinalardaki metal aksamlar ile
- Ring iplikçiliğinde kopça ve bilezik ile
- Rotor iplikçiliğinde metal aksam ve kılavuzlarla
- Bobin aktarma ve katlama işlemlerinde

**Kumaş oluşum aşamasında**

- Dokuma kumaş oluşumunda ön ağızlık, arka köprü ve çözgü levendinde metal yüzeyler ile
- Dokuma tezgâhında gücü gözü ve lamellerde
- Örme kumaş oluşumunda iplik-iğne arasında
- Tüm iplik frenlerinde

**Konfeksiyon aşamasında**

- Dikim işlemleri sırasında dikiş iğnesi ile
- Dikim işlemleri sırasında dikiş makinasındaki metal yüzeylerle (Şekil 1. 12b)

### İPLİK-SERAMİK SÜRTÜNMESİ

**İplik oluşum aşamasında**

- Rotor ve vortex iplikçiliğinde seramik navellerde
- Karışım veya elastanla çalışılacaksa iplik makinası kılavuzlarında
- Tüm iplik cağlıklarında

**Kumaş oluşum aşamasında**

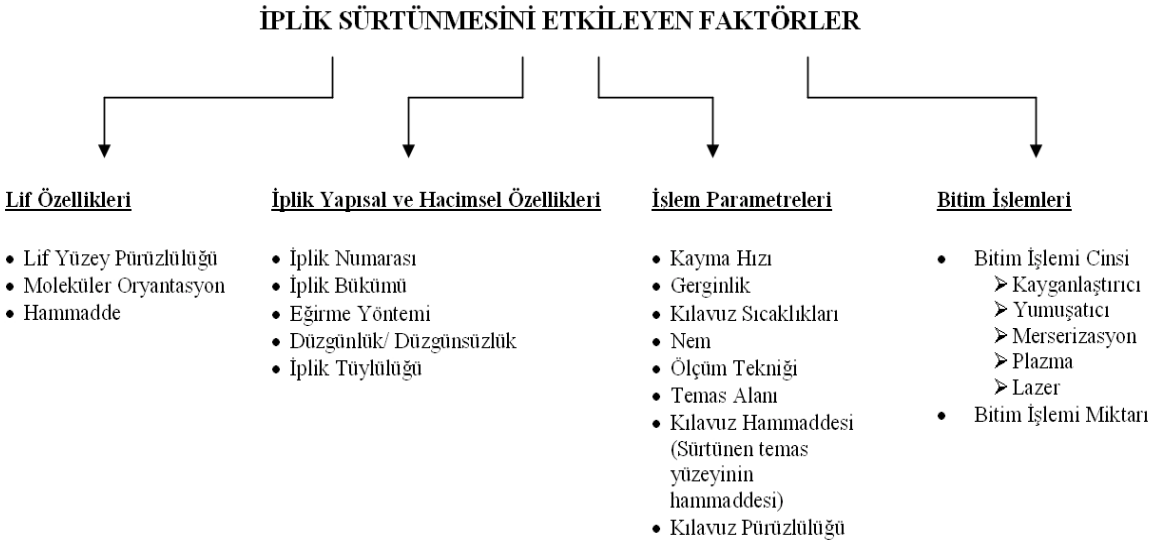
- Örme kumaş oluşumunda örme makinasındaki seramik kılavuzlarda
- Tüm iplik frenlerinde

Şekil 1.13 İplik üretiminden son ürün oluşuncaya kadar ipliğin sürtünmeye maruz kaldığı aşamalara örnekler

İplik sürtünmesinin üretimin ilk aşamasından itibaren ortaya çıkması ve son ürünün özelliklerini etkilemesi sebebiyle ipliklerin sürtünme özelliklerini belirlemek amacıyla günümüze kadar yapılmış birçok çalışmada iplik sürtünme özelliklerini etkileyen çeşitli faktörlerin etkisi araştırılmış ve buna bağlı sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca iplik sürtünme özelliklerini incelemek amacıyla yapılan çalışmalarda iplik sürtünme özelliklerinin diğer iplik özelliklerine etkisi ve buna bağlı olarak kumaş özelliklerine etkisi incelenmiştir.

İplik sürtünme özellikleri genel olarak lif sürtünmesi ve iplik yüzey özellikleri tarafından belirlenmektedir. Bir başka deyişle iplik sürtünmesini etkileyen faktörler ipliğin yüzeysel özellikleri ile birlikte ipliğin yapısal ve hacimsel özellikleridir.

Hong (2000), iplik sürtünme özelliklerini etkileyen faktörleri "lif özellikleri, iplik yapısal ve hacimsel özellikleri, işlem parametreleri ve bitim işlemleri" şeklinde ana başlıklar altında toplamış ve her bir özellik grubu için etkileyen parametreleri Şekil 1.14'te verildiği gibi özetlemiştir.




Şekil 1.14 İplik sürtünmesini etkileyen faktörler (Hong, 2000)

### *1.5.1 Lif Özelliklerinin İplik Sürtünmesine Etkisi*

İpliklerin tüm yapısal ve mekanik özelliklerini etkileyen en önemli faktör liflerin özellikleridir.

İplik numarası, iplik mukavemeti, iplik tüylülüğü gibi iplik özelliklerinin tamamı liflerin yapısal özellikleriyle birebir ilgili olup bu özelliklerden büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu durum iplik sürtünmesi için de geçerli olacaktır. Bir ipliğin bünyesinde bulunan liflerin tüylülüğü ya da yüzeylerindeki mikro çıkıntılar iplik sürtünmesini etkileyecektir. Bu nedenle ipliğin hammaddesi olan liflerin cinsi ve sahip olduğu özellikler iplik sürtünmesini belirlemede birinci dereceden etkilidir (Gupta, 2008).

Gelişen teknolojiler ve değişen tüketici gereksinimleri nedeniyle günümüzde ipliklerde hammadde olarak doğal liflerin yanı sıra değişik özelliklere sahip birçok kimyasal ve rejenere lif de kullanılmaktadır. Bu liflerin performans özelliklerinin farklı olmasının yanı sıra yüzey özellikleri de farklıdır. Sürtünme kuvveti materyallerin cinsine bağlı olduğundan ipliğin hammaddesi olan lifler farklılaştığında diğer özellikleri aynı olsa da gösterecekleri sürtünme davranışları da farklı olacaktır.

İpliğin hammaddesini oluşturan liflerin iplik sürtünmesi üzerinde etkisini incelemek amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından çalışmalar yapılmıştır.

Ajayi ve Elder (1994), pamuk, yün, akrilik ve viskoz rayon liflerini kullanarak yaptıkları çalışmada en yüksek iplik- materyal sürtünme katsayısını yün ipliklerinde, en düşük sürtünme katsayısını akrilik ipliklerinde gözlemlemişlerdir.

Rankumar ve ark. (2003), hammaddenin iplik sürtünme özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla friksiyon eğirme teknolojisiyle üretilen farklı hammaddeler ve farklı karışımlardan oluşan (Kevlar, PES, PP, PA 6.0) iplikler için en düşük sürtünme katsayısının PP ipliklerinde olduğunu belirtmişlerdir.

Svetnickenė ve Čiukas (2006), teknik (SVM, fenilon, Nomex) ve klasik (PA6, PAN, pamuk) ipliklerin sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. En yüksek sürtünme katsayısı değeri pamuk ve PA6 ipliklerinde, en düşük sürtünme katsayısı değeri Nomex ve PAN ipliklerinde gözlenmiştir. Ayrıca teknik ipliklerden SVM ve fenilonun daha yüksek sürtünme, nomexin ise daha düşük sürtünmeye sahip olduğu belirlenmiştir.

Scardino ve Lyons (1967), lif yüzey pürüzlülüğünün iplik sürtünme kuvvetine etkisini incelemek amacıyla poliester filament ipliklerinin sürtünmesini incelemişlerdir. Daha düşük $TiO_2$ içeren ipliklerde daha yüksek iplik- iplik ve iplik-metal sürtünmesi gözlemlemişlerdir.

Schick (1973), lif inceliğinin ve multifilament ipliklerdeki nemin iplik sürtünmesine etkisini incelemek amacıyla yaptığı çalışmada ipliklerdeki nemin artmasıyla birlikte temas alanının artacağını ve bunun da iplik sürtünmesini arttıracağını belirtmiştir.

### *1.5.2 İplik Yapısal ve Hacimsel Özelliklerinin İplik Sürtünmesine Etkisi*

İpliklerin hammaddesi olan liflerin özellikleri doğrultusunda belirlenen diğer iplik özellikleri de iplik sürtünmesini etkileyen faktörler arasındadır. Bu özellikler iplik numarası, iplik bükümü, iplik tüylülüğü ve iplik düzgünsüzlüğüdür. Ayrıca liflerin iplik yapısındaki yerleşimlerini belirleyen faktörlerden birisi olan eğirme teknolojisi de diğer bütün iplik özelliklerinde olduğu gibi iplik sürtünmesinde de oldukça önemli bir etkendir. Çünkü günümüzde kullanılan farklı eğirme teknolojilerinde lifler iplik yapısı içerisinde farklı yerleşimler göstermekte ve bu yapı içerisine farklı şekillerde entegre olmaktadırlar. Örneğin OE rotor iplikçiliğinde eğirme teknolojisinin etkisiyle ipliklerde kemer lifleri oluşmakta, bu da iplik yüzey özelliklerini etkilemektedir. Aynı örnek ring ya da friksiyon iplikçiliğinde de geçerli olup, bu teknolojilerle üretilen iplikler de birbirlerinden farklı yüzey özellikleri göstereceğinden birbirlerinden farklı sürtünme davranışları sergileyecektir.

İplik özelliklerinin iplik sürtünmesi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılan çalışmalar ilk yıllarda ipliğin yapısal özellikleri üzerinde yoğunlaşırken yeni eğirme teknolojilerinin kullanımının artması nedeniyle günümüzde eğirme teknolojisinin etkisini araştırmak amacıyla yapılan çalışmaların sayısının arttığı görülmektedir.

Kalyanaraman (1988), iplik numarasının sürtünme özelikleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapığı çalışmada lineer yoğunluk(tex) arttıkça yüksek temas alanı nedeniyle yüksek sürtünme katsayısı olduğunu gözlemlemiştir.

Zurek ve Frydrych (1993), iplik düzgünsüzlüğünün sürtünme özelliklerine etkisini inceledikleri çalışmada iplik düzgünsüzlüğü arttıkça sürtünme kuvvetinin de artacağı sonucuna varmışlardır.

Chattopadhyay ve Banerjee (1996), inceledikleri ipliklerde büküm sayısının ve iplik eğirme teknolojisinin sürtünme özelliklerine etkisini incelemiş, pamuk, viskon ve poliester liflerinden üretilmiş ring, rotor ve friksiyon ipliklerinde büküm sayısının artmasıyla temas alanının düşmesi sonucu sürtünme kuvvetinin azalacağını belirtmişlerdir.

Ghosh ve ark. (2008) ise friksiyon, rotor, ring ve hava jetli iplik eğirme teknolojisiyle üretilen ipliklerde eğirme teknolojisinin iplik sürtünmesine etkisi incelenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre eğirme teknolojileri açısından değerlendirildiğinde kaba iplik yüzeyi daha yüksek iplik-iplik ve daha düşük iplik-metal sürtünmesine neden olmaktadır.

### *1.5.3 Test Parametrelerinin İplik Sürtünmesine Etkisi*

İplik sürtünmesini etkileyen işlem parametreleri kayma hızı, gerginlik, kılavuz sıcaklıkları, nem, ölçüm tekniği, temas alanı, kılavuz hammaddesi, yani sürtünen yüzeyin hammaddesi ve sürtünen yüzeyin pürüzlülüğüdür.

Schlatter ve ark. (1962), sürtünme noktalarının büyüklüğü ve yüzey pürüzlerinin çapı, iplik besleme açısının ve hızının iplik sürtünmesi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla caprolan[2] filament ipliklerinin sürtünmesi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Sonuçta iplik besleme açısı ve hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü ve yüzey pürüzlerinin çapı ne olursa olsun sürtünmenin arttığı belirtilmiştir.

Galuszynski ve Ellis (1983), yaptıkları çalışmada iplik geçiş hızı arttıkça sürtünme kuvvetinin öncelikle belirli bir miktar düştüğü, sonra çok az bir miktar artarak sabit kaldığını gözlemlemiştir. Ayrıca giriş gerginliği ve besleme açısı arttıkça sürtünme kuvvetinin arttığı da ifade edilmiştir.

Zunic-Lojen ve Gersak (2003), çalışmalarında iplik besleme açısının, sürtünme yüzeyi cinsinin ve iplik kayma hızının iplik sürtünmesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. İplik sürtünme katsayısının kayma hızı arttıkça arttığı, besleme açısı arttıkça azaldığı belirtilmiştir. Sürtünen yüzeyin hammaddesi açısından iplik-çelik ve iplik-seramik sürtünme katsayıları belirlenmiştir. İplik-seramik sürtünme katsayısı iplik-çelik sürtünme katsayısından yüksek çıkmıştır.

Rankumar ve ark. (2003), ise iplik sürtünmesine giriş gerginliğinin etkisini inceledikleri çalışmalarında normal yükün artmasıyla iplik yapısının düzleştiğini ve dolayısıyla sürtünme katsayısının azaldığını belirtmiştir. Normal yükün artmasıyla yapıdan çıkan lif ucu sayısının azalacağını, daha düz bir yüzeyin elde edilmesi sonucu sürtünmenin azaldığı vurgulanmıştır.

Ghosh ve ark. (2008), giriş gerginliğinin ve geçiş hızının sürtünme özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar tarafından, iplik geçiş hızı arttıkça iplik-metal sürtünmesinin arttığı, giriş gerginliği arttıkça iplik-iplik ve iplik-metal sürtünmesi için sürtünme kuvvetinin arttığı ve gerilme oranının ($T_2$ /$T_1$) düştüğü ifade edilmektedir.

---

[2] Çalışmada, Caprolan lifi orijinal çalışmada Nat. Aniline Division, Allied Chemical Corp.firmasının tescilli markası olarak ifade edilmektedir.

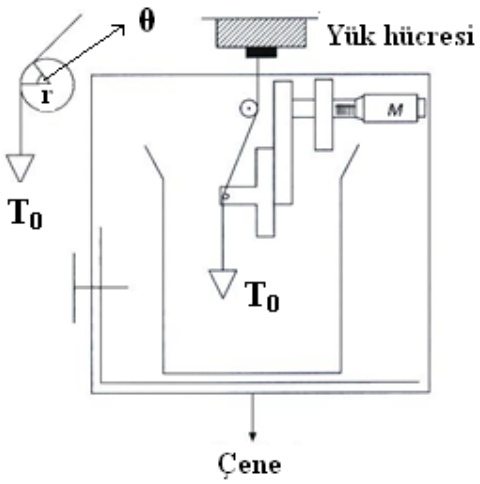
## 1.6 İplik Sürtünmesinin Ölçülmesi

Lif sürtünmesini ölçmek amacıyla kullanılan birçok yöntem iplik sürtünmesini belirlemek amacıyla da kullanılabilmektedir. İplik sürtünmesi, noktasal ve çizgisel temas yöntemleri olmak üzere temel olarak iki farklı prensiple belirlenmektedir. Bu bölümde noktasal ve çizgisel temas yöntemleri hakkında bilgiler verilmekte, literatürden örnek çalışmalar sunulmakta son olarak iplik sürtünmesi test cihazları hakkında kısa bilgiler verilmektedir.

### *1.6.1 Noktasal Temas Yöntemleri*

Literatür incelendiğinde araştırmacıların iplik sürtünmesini belirlemede Howell Yöntemi, Asılı Lif Yöntemi, Eğik Lif Yöntemi ve Sitra Sürtünme Yöntemi olarak adlandırılan yöntemleri kullandıkları ancak günümüzde bu yöntemler yerine daha çok çizgisel temas yöntemlerinin tercih edildiği görülmektedir. Subramaniam ve Natarajaman (1990), Siro iplikler kullanarak Howell Yöntemi ile iplik-iplik ve iplik-metal sürtünmesini ölçmüşlerdir. Briscoe ve Motamedi (1990) ise Asılı Lif Yöntemi'ni pamuk ve aramid iplikleri için kullanmıştır. Kalyanaraman ve Prakasam 1987 yılında iplik-kılavuz sürtünmesini ölçmek amacıyla SITRA sürtünme yöntemini geliştirmişlerdir.

Bu yöntem için en uygun düzenek Capstan metoduna göre ayarlanmış düzenektir. Bu yöntemde bir lif yatay bir kanal içerisine belirli bir gerginlikte yerleştirilmiştir ve bir mikrometre kullanılarak dikey olan lifle temas ettirilir (Şekil 1.15). Dikey olan diğer lifin ise bir ucu yük hücresine bağlıdır, diğer ucu ise sabit bir gerginlik taşımaktadır. Açı ve lif çapı çok küçük olduğundan temas oldukça küçüktür. Yük hücresinin hareketiyle sürtünme davranışı belirlenmektedir. (Gupta ve El Mogahzy, 1993; Gupta, 2008; Pastore ve Kiekens, 2001)




Şekil 1.15 Noktasal temas düzeneği
(Gupta,2008)

Sürtünme katsayısı Capstan formülü ile belirlenmektedir.

F= $aR^n$ ( Eşitlik 1.5) kullanılırsa;

$$T = T_0 exp^{[\theta a (T_0/r)^{n-1}]} \quad (1.9)$$

Bu durumda sürtünme katsayısı (μ) Eşitlik 1.10 ile hesaplanmaktadır:

$$\mu = a\left(\frac{T_0}{r}\right)^{n-1} \quad (1.10)$$

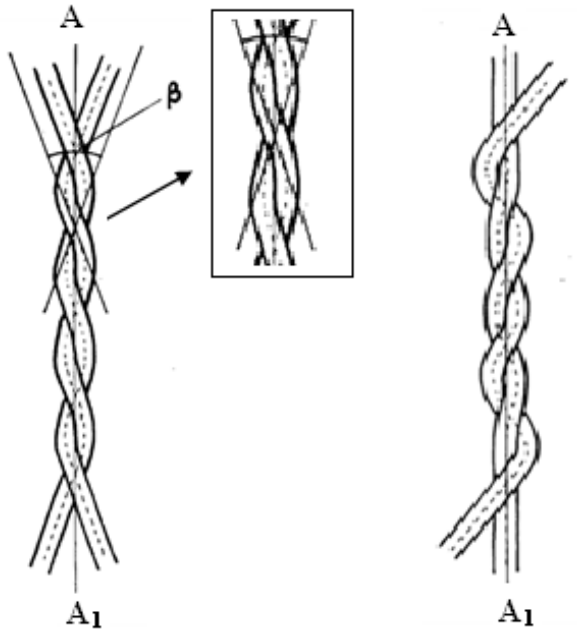
### *1.6.2 Çizgisel Temas Yöntemleri*

Çizgisel temas yöntemleri noktasal temas yöntemlerinden farklı olarak çok sayıda araştırmacı tarafından kullanılmış standart yöntemlerdir. Amerikan Standartlarında çizgisel temas yöntemlerinden Capstan Yöntemi ve Bükülmüş İplik Yöntemi iplik-iplik sürtünmesini belirlemek için kullanılan standart yöntem olarak belirtilmiştir (ASTM D 3412-01, Standard Test Method for Coefficient of Friction, Yarn to Yarn).

Bu yöntem Lindberg ve Gralen (1948) tarafından önerilmiştir. Yöntemde iki lif ya da iplik belirli dönüş sayısında büküldükten sonra lif ya da ipliklerden birinin ucuna

sabit bir gerginlik yerleştirilir ve diğerinin ucundaki gerginlik bağıl hareket başlayana kadar arttırılır.

Şekil 1.16 'da iki lifin birbiri üzerine bükülmesi ve gerginlik verilmesiyle lif (iplik) eksenindeki helislerin bozulması şematik olarak gösterilmektedir.




Şekil 1.16 Lif (iplik) eksenindeki helislerin bozulması (Lindberg ve Gralen, 1948)

Bu yöntemde sürtünme katsayısını hesaplamak için Eşitlik 1.11 kullanılmaktadır:

$$\frac{T}{T_0} = e^{\pi\tau\beta\mu} \qquad (1.11),$$

$T_0$=Giriş gerginliği,
T= Kayma için gereken gerginlik,
B=Bükülmüş iki lif arasındaki açı
τ =Verilen büküm sayısı

Eşitlik 1.5 kullanılırsa,

$$T = T_0\, exp\left[\pi\tau\beta\alpha\left(\frac{T_0\beta^2}{4r^2}\right)^{n-1}\right] \qquad (1.12),$$

r = Yarıçap

elde edilir.

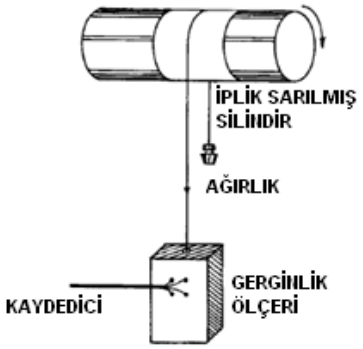
Sonuç olarak sürtünme katsayısı( μ), Eşitlik 1.13 ile hesaplanmaktadır (Pastore ve Kiekens, 2001) :

$$\mu = \left(a\frac{T_0\beta^2}{4r}\right)^{n-1} \quad (1.13)$$

*1.6.2.1 İplik-İplik Sürtünmesinin Belirlenmesinde Kullanılan Çizgisel Temas Yöntemleri*

*1.6.2.1.1. Capstan Yöntemi*

Capstan yönteminde sarım açısı noktasal temasa yakın olacak şekilde küçüktür ve sarım açısı(wrap angle) değiştirilerek noktasal ya da çizgisel temas sağlanabilir. ASTM D 3412'ye göre Capstan yönteminde ipliğin geçtiği makara ya da düzenek iplikle sarılarak iplik-iplik sürtünmesi ölçülmektedir. Ayrıca ipliğin geçtiği makarada herhangi bir materyal kullanılarak iplik- materyal sürtünmesinin ölçülmesi mümkündür.




Şekil 1.17 Capstan yöntemi
(ASTM D 3412-01)

Standartlara göre Capstan Yöntemi'nde iplik 48 mm çaplı bir silindire 180º sarım açısı ile sarılmaktadır. İpliğin bir ucunda gerekli giriş gerginliğini sağlamak amacıyla sabit bir ağırlık bulunmaktadır. Yöntemde iplik-iplik sürtünmesini ölçmek amacıyla silindir üzerine sarılan iplik sarım yapılan yüzeyi tamamen kaplamalıdır. Çevresine iplik sarılmış silindir sürtünme aparatına aktarılır ve Şekil 1.17'de görüldüğü gibi

silindirin çevresini kaplayan ipliğin aynısı silindirin üzerine asılır. Kesikli lif ipliklerinde iki kat iplik kullanılır. Giriş gerginliği 10±0,5 mN/tex olarak ayarlanmaktadır. Silindir 0,02 m/dak hızla dönerken gerginlik ölçeri tarafından çıkış gerginliği ölçülmektedir (Saville, 1998):

Bu yöntemde iplik sürtünme katsayısı, eşitlik 6 kullanılarak hesaplanmaktadır:

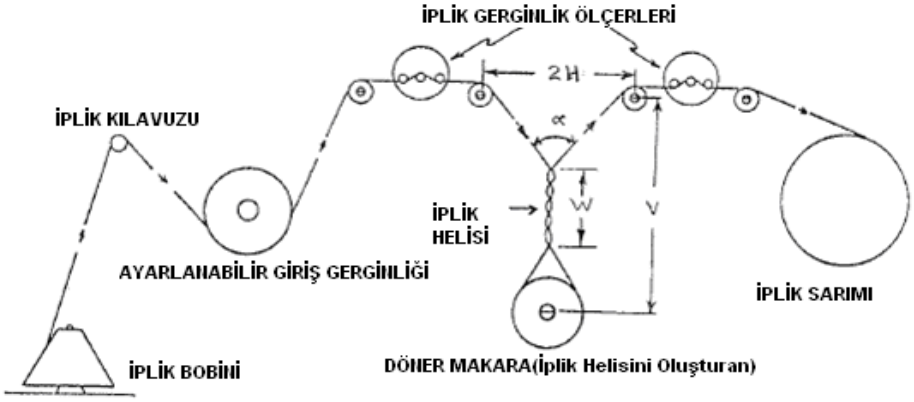
$$T_2=T_1e^{\mu\theta} \qquad (1.14)$$

$$\mu = \frac{\ln(T_2) - \ln(T_1)}{\theta} = \ln (T_2/T_1)/\theta \qquad (1.14)$$

μ= Sürtünme katsayısı;
$T_1$ = Ortalama giriş gerginliği;
$T_2$= Ortalama çıkış gerginliği;
$\theta$= Sarım açısı (180º)

*1.6.2.1.2. Bükülmüş İplik Yöntemi*

Bükülmüş iplik yönteminde iplik 900º sarım açısı ile sarılmaktadır. Şekil 1.18'de bükülmüş iplik yönteminin şematik diyagramı gösterilmektedir.




Şekil 1.18 Bükülmüş iplik yöntemi (ASTM D 3412-01)

Bu yöntemde ipliğe katlama bükümü verilmektedir. İpliğin çıkış ucu kontrollü bir şekilde çekilmektedir. İpliğin giriş gerginliği sürekli kontrol edilerek beslenme ve çıkış gerginliği ölçülmektedir. Yöntemde ipliğe verilen katlama bükümü sayısı, büküm verildikten sonra iplikler arasındaki açı, giriş ve çıkış gerginlikleri tam olarak

bilinmelidir. Giriş gerginliği gerginlik ayarlayıcı bir sistem yardımıyla belirlenmektedir (Kalyanaraman ve Prakaram, 1987; Ghosh ve ark., 2008)

İplik beslendikten sonra ipliğin kendi üzerinde büküm alabilmesi amacıyla aşağıdaki dönen silindir üç kere çevrilmektedir. Eğer silindir sabitse, iplik silindirden alınarak elle üç tam büküm verildikten sonra silindir üzerine yerleştirilir. Verilen ilk "yarım büküm" ipliğin giriş ve çıkış bölümlerinin birbiriyle temas etmesini sağlamak amacıyla olup, "0" sarım açısını temsil etmektedir. Geriye kalan 2,5 büküm ise 900º açıyı göstermektedir.(360º+360º+180º) Büküm verilen kısmın uzunluğu (W) ölçülür. Daha sonra giriş ve çıkıştaki silindirler arasındaki mesafe (2H) ölçülür. En son aşamada aşağıdaki silindirin merkezi ile yukarıdaki silindirin arasında kalan dikey mesafe (V) ölçülmektedir. Bu değerler için daha önceden belirlenmiş sabitler de kullanılabilmektedir (ASTM D 3412-01).

İplikler arasındaki açı, Eşitlik 15'te verilen formül ile hesaplanmaktadır:

$$\alpha = 2\arctan = \left( \frac{H}{V - W} \right) \tag{1.15}$$

Şekil 1.18'de görüldüğü gibi Eşitlik 1.15'teki H, ipliğin giriş ve çıkışının paralel konumlanmasını sağlayan kılavuzların merkezleri arasındaki uzaklığın yarısı; V, girişteki kılavuzun merkezi ile döner makara merkezi arasındaki dikey uzunluk; W ise şekil üzerinde iplik helisi olarak gösterilen ve katlama bükümü verilen kısmının uzunluğudur.

Standartta belirtilen giriş gerginliği 10 ±0,5 mN/tex'tir. Ancak daha kalın iplikler için (30 tex ve daha kalın iplikler) bu değer daha küçük alınabilir. Standartta belirtilen hız ise 20 mm/dak ile 100 mm/dak arasındadır. Standartlarda bu yöntem için belirli hızlar ve giriş gerginlikleri belirlenmişse de farklı araştırmacılar sürtünme üzerinde iplik giriş gerginliğinin ve hızın etkisini incelemek amacıyla çeşitli hız ve gerginliklerde çalışmalar yapmıştır (Ghosh ve ark., 2008; Liu ve ark., 2006; Svetnickenė ve Čiukas, 2006)

Bu yöntemde ipliğe verilen katlı bükümün başladığı yere bir işaret konulmakta ve daha sonra iplik beslemesi gerçekleştirilmektedir. İşaret tamamen büküm bölgesini geçtikten sonra sürtünme katsayısı ya da giriş ve çıkış gerginliği ölçülür. İplik büküm bölgesini geçtikten sonra gelen 100 mm için ölçüm gerçekleştirilir. Eğer "stick-slip" kabul edilmişse ortalama gerilim değeri için ardışık 10 tepe değerinin ortalaması alınır."Stick-slip" olayı dikkate alınmamışsa direk olarak ortalama gerilim değeri alınır. Sisteme direk iplik sürtünme katsayısını hesaplayan bir yazılım da eklenebilir.

Sisteme sürtünme katsayısını hesaplamak amacıyla bir yazılım eklemek mümkündür. Bu şekilde bir donanımın bulunmaması durumunda giriş ve çıkış gerginlikleri aracılığı ile iplik sürtünme katsayısı hesaplanmaktadır (Eşitlik 1.16).

$$\mu = \frac{\ln \dfrac{T_2 - \Delta T/2}{T_1 + \Delta T/2}}{2\pi \, n_\alpha} \qquad (1.16)$$

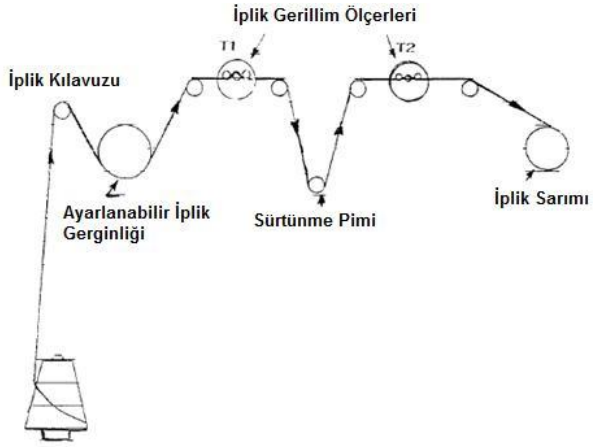
$n_\alpha$ katlama bükümü sayısı, $T_1$ ortalama giriş gerginliği, $T_2$ ortalama çıkış gerginliği, $\Delta T$ sıfır bükümdeki iplik gerilmesidir. (ASTM-D 3412-01, Liu ve ark., 2006) ($\Delta T$, hiç iplik-iplik sürtünmesi olmaması durumunda giriş ve çıkış gerginliği arasındaki farktır.)

*1.6.2.2 İplik-Materyal Sürtünmesinin Belirlenmesinde Kullanılan Çizgisel Temas Yöntemleri*

Tekstil materyalleri için iplik-iplik sürtünmesinin yanı sıra iplik- materyal sürtünmesi de yapılan işlemlerin etkinliğini ve ürünün özelliklerini etkilediğinden bu sürtünmeyi belirlemek amacıyla da çeşitli aparatlar ve cihazlar geliştirilmiştir. İplik-iplik sürtünmesini belirlemek amacıyla kullanılan Capstan Yöntemi'nde ipliğin geçtiği makaraya iplik sarılmaksızın herhangi bir materyal sarılarak iplik- materyal sürtünmesi ölçülmektedir. İplik- iplik sürtünmesini belirlemek amacıyla kullanılan bükülmüş iplik yönteminde ipliğe katlama bükümü verilmektedir. İplik- materyal sürtünmesi içinse ipliğe katlama bükümünün verilmemesi ve ipliğin başka bir materyal yüzeyine temas etmesi gerekmektedir. Bu amaçla standartlarda bükülmüş iplik yönteminde kullanılan düzenek iplik-materyal sürtünmesini belirlemek için de

standart düzenek olarak gösterilmiştir ve ipliğe herhangi bir katlama bükümü verilmeksizin ipliğin geçtiği makaraya bir ya da birkaç sürtünme pimi yerleştirilmiştir. Bu düzenekte ipliğe istenilen sarım açısı verilerek iplik-materyal sürtünmesi belirlenmektedir (ASTM D 3108- 01). Bu amaçla kullanılan aparatlardan bir kısmı iplik sürtünmesini doğrudan verirken, bir kısmında iplik sürtünme katsayısı giriş ve çıkış gerginliği aracılığıyla hesaplanmaktadır.

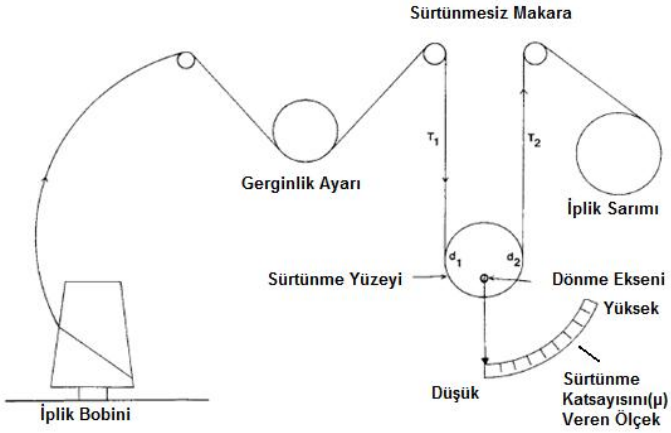
İplik-materyal sürtünmesini doğrudan vermeyen aparatta iplik giriş gerginliği belli bir değere ayarlanarak kontrol edilmekte ve çıkış gerginliği ölçüldükten sonra iplik sürtünme katsayısı hesaplanmaktadır (Şekil 1.19). Burada ipliğin geçtiği makaraya bir ya da birkaç sürtünme pimi yerleştirilerek ve istenen sarım açısı verilerek iplik-materyal sürtünmesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Standartlarda giriş gerginliği 9,8±1 mN/tex, hız 100 m/dak, sarım açısı 180º veya 360º olarak önerilmektedir.




Şekil 1.19 İplik- materyal sürtünmesini belirlemekte kullanılan aparat (ASTM D 3108-01)

İplik-iplik sürtünme katsayısını hesaplarken kullanılan Capstan formülü (Eşitlik 1.14) burada da iplik-materyal sürtünme katsayısını hesaplamak için kullanılmaktadır.

Doğrudan iplik-materyal sürtünmesini veren aparatta ise diğer sistemle aynı şekilde giriş gerginliği belirlenir ve çıkış gerginliği ölçülür (Şeki1.20). Ancak, bu yöntemde aparata çıkış gerginliği/ giriş gerginliği oranını kurabilen ve sürtünme katsayısını belirleyebilen ve gösteren ekran veya ölçek eklenmiştir.




Şekil1.20 İplik-materyal sürtünmesini belirlemekte kullanılan aparat (doğrudan ölçüm) (ASTM D- 3108-01)

Birçok araştırmacı bu yöntemleri esas alarak kendi ölçüm düzeneklerini geliştirmek suretiyle ya da bu yöntemleri esas alan çeşitli cihazların kullanımı ile iplik sürtünmesini belirlemek amacıyla çeşitli araştırmalar yapmışlardır.

## 1.7 İplik Sürtünmesi Ölçümünde Kullanılan Cihazlar

İplik sürtünmesini belirlemek amacıyla ortaya konan yöntemler ve aparatlar dışında çeşitli firmaların değişik özelliklere ve teknolojilere sahip iplik sürtünme test cihazlarını geliştirmesi ve üretmesi kaçınılmaz olmuştur. Test cihazı üreten firmalar tarafından geliştirilen iplik sürtünme test cihazları, temel olarak bükülmüş iplik yöntemi ve Capstan yöntemini kullanarak iplik-iplik ve iplik-materyal sürtünme katsayılarını belirlemektedir. Tablo 1.6'da verilen test cihazlarının iplik sürtünmesi konusunda test cihazı üreten firmalar tarafından önerildiği görülmektedir.

Tablo1.6 İplik Sürtünmesi Ölçümünde Kullanılan Test Cihazları*

| Üretici Firma | Cihaz Ismi | Ölçülen Parametreler | Standart Yöntem | Ölçüm Tekniği |
|---|---|---|---|---|
| Graf | Graf CPF İplik Sürtünme Ölçeri | Tüm ipliklerin iplik-materyal sürtünmesi | - | - |
| Honigmann | HCC µ- Meter | Filament ipliklerin iplik- materyal sürtünme katsayısı | ASTM D 3108 | Capstan Yöntemi |
| Lawson Hemphill | CTT Sabit Gerilim Taşıyıcı Sürtünme Test Cihazı | Tüm ipliklerin iplik-materyal sürtünme katsayısı<br>Tüm ipliklerin iplik-iplik sürtünme katsayısı | ASTM D 3108<br>ASTM D 3412 | Capstan Yöntemi<br>Bükülmüş İplik Yöntemi |
| Lenzing | Lenzing µ-Meter | Filament ipliklerin iplik- materyal sürtünme katsayısı<br>Filament ipliklerin iplik- iplik sürtünme katsayısı | ASTM D 3108<br>ASTM D 3412 | Capstan Yöntemi<br>Bükülmüş İplik Yöntemi |
| Mesdan | Attrifil II İplik Sürtünme Ölçeri | Tüm ipliklerin iplik-materyal sürtünme katsayısı | ASTM D 3108 | Capstan Yöntemi |
| Rothschild | F-Meter R-2088 İplik Sürtünme Ölçeri | Tüm ipliklerin iplik-iplik sürtünme katsayısı<br>Tüm ipliklerin iplik-materyal sürtünme katsayısı | -<br>- | -<br>- |
| SDL Atlas | Shirley Y096/098 İplik Sürtünme ve Tüylülük Ölçeri | Tüm ipliklerin iplik-materyal sürtünme katsayısı | ASTM D 3108 | Capstan Yöntemi |
| Toray | Toray İplik Sürtünme Ölçeri (YF 850) | 50-300 denye numara aralığına sahip ipliklerin 0-399$^0$C'de iplik-materyal sürtünme katsayısı<br>İplik-iplik sürtünme katsayısı | -<br>- | -<br>- |
| Wira Instrumentation | Wira İplik Sürtünme Ölçeri | İplik sürtünme katsayısı | - | - |
| Zweigle by Uster | G 534 µ-Meter | Tüm ipliklerin iplik-materyal sürtünme katsayısı | ASTM D 3108 | Capstan Yöntemi |

*Tabloda alfabetik olarak sıralanan firmaların iplik sürtünme test cihazları hakkındaki bilgiler, firmalarından ürün katalogları ve kendi internet sitelerinden derlenmiştir.

## 1.8 Önceki Çalışmalar

Tekstil materyallerinin sürtünmesi ile ilgili ilk çalışmalar lif sürtünmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Daha sonra çeşitli araştırmacılar (Subramaniam ve Natarajaman, 1990; Briscoe ve Motamedi, 1990) lif sürtünmesi için kullanılan düzenekleri iplik sürtünmesine uyarlayarak iplik sürtünmesini ölçmüşlerdir. Günümüzde iplik sürtünmesini belirlemek için geliştirilen düzeneklerin yanı sıra Tablo 1.6'da görüldüğü gibi çeşitli firmalar tarafından iplik sürtünmesi ölçümünü gerçekleştirilen cihazlar da bulunmaktadır.

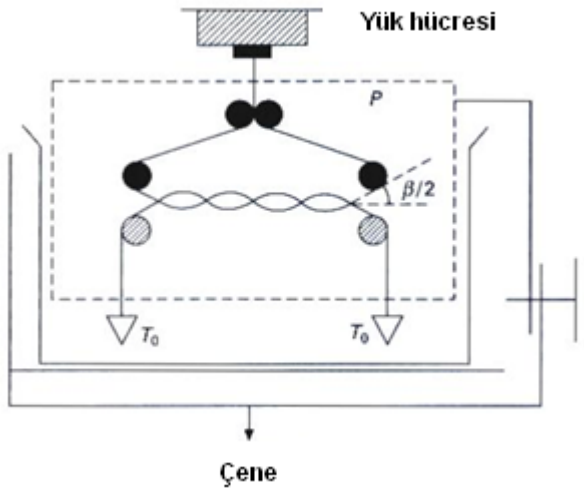
Bu bölümde öncelikle iplik sürtünmesini belirlemek amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen iplik sürtünmesi düzenekleri ile ilgili çalışmalara incelenerek bu çalışmalarda ölçülen iplik sürtünme özellikleri hakkında bilgiler verilecektir. İkinci aşamada ise iplik yapısal özelliklerinin ve test parametrelerinin iplik sürtünmesine etkisini araştırmak amacıyla iplik sürtünme test cihazlarında gerçekleştirilen çalışmalara yer verilmektedir. Bir sonraki aşamada iplik sürtünme özelliklerini değiştirmek amacıyla kullanılan yağlayıcı maddenin iplik sürtünmesine etkisini inceleyen çalışmalara örnekler verilmektedir. Son çalışmada ise iplik sürtünmesinin çapraz bileşenine ait bir çalışmaya yer verilmektedir.

Gupta ve El Mogahzy (1993), bükülmüş iplik yöntemini Instron Mukavemet ölçerine uyarlamak amacıyla bir düzenek geliştirmiştir. Düzenek altı tane sürtünmesiz makara ve bir metal platformdan oluşmaktadır ve düzenek cihazın alt çenesi tarafından tutulmaktadır (Şekil 1.21). Örnekler üst çene tarafından tutulduktan sonra yukarıdaki sürtünmesiz dört tane makaradan geçirilir ve daha sonra ipliğe istenilen sayıda büküm verilerek aşağıdaki iki makaradan geçirildikten sonra uçlarına sabit bir ağırlık asılır. Instron çalışmaya başladığında yük hücresindeki gerginlik, sürtünme kuvveti ve giriş gerginliğini aştığı anda iplik kaymaya başlamıştır. Ölçümler sonunda çıkış gerginliği değeri elde edilmiştir ve sürtünme katsayısı hesaplanmıştır. (Eşitlik 1.17)

$$\frac{T}{T_0} = e^{\pi r \beta \mu} \qquad (1.17)$$

Çalışmada grafiklerden statik ve dinamik sürtünme katsayısı elde edildikten sonra iki katsayının farkından stick-slip büyüklüğü tahminlenmeye çalışılmıştır. Farklı giriş gerginlikleri için bulunan sürtünme katsayısı değerleri Formül 1.18e uyarlanarak sürtünme sabitleri olan a ve n belirlenmiştir.

$$\mu = \left(a\frac{T_0\beta^2}{4r}\right)^{n-1} \tag{1.18}$$




Şekil 1.21 Bükülmüş iplik yöntemi sürtünme düzeneği
(Gupta ve El Mogahzy,1993)

Zurek ve Frydrych (1993), iplik-iplik sürtünmesini belirlemek amacıyla bir düzenek geliştirmişlerdir. Düzenek, Instron Mukavemet Ölçeri'ne bağlanarak çalıştırılmış ve iplik sürtünmesi belirlenmiştir. Çalışmada materyal olarak farklı hammaddelerle farklı teknolojilerle üretilmiş farklı büküm katsayılarına sahip yün iplikleri kullanılarak kinetik ve statik sürtünme katsayıları belirlenmiştir. İpliklerin sürtünme katsayıları ve kohezyon kuvvetleri ipliklerin dikey ve çarpık konumlandırılmasına göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. İpliklerin çarpık konumdaki sürtünme katsayısı değerlerinin ve kohezyon kuvvetlerinin dikey konumdakine göre daha yüksek çıktığı belirtilmiştir. Aynı çalışmada iplik düzgünsüzlüğünün sürtünme özelliklerine etkisi incelenmiştir ve iplik düzgünsüzlüğü arttıkça sürtünme kuvvetinin de artacağı sonucuna varılmıştır.

Vickers ve ark. (2000), iplik- yüzey sürtünmesinin veri elde etme ve dijital görüntüleme teknikleri ile analizi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada eliptik bir profilden kenarlar boyunca iplik geçirildiğinde oluşan iplik sürtünmesi deneysel olarak incelenmiş ve teorik olarak modellenmiştir. Sonuç olarak deneysel veriler ve simülasyonla oluşturulan veriler arasında yüksek korelasyon olduğu ortaya konmuş ve dijital görüntüleme tekniğinin iplik davranışını belirlemede kullanılabilecek bir teknik olduğu belirtilmiştir.

Koo ve Kim(2002), Capstan yöntemini kullanarak pamuk ipliklerinin sürtünme katsayısının yuvarlak örme makinasında tüy oluşumuna (fluff formation) etkisini incelemiştir. İplik sürtünmesi ve tüylenme miktarı arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla örme noktalarını simule eden ve günümüzde kullanılan sürtünme ölçerleri ile karşılaştırılabilen bir test düzeneği geliştirilmiştir. Çalışmada iplik besleme açıları değiştirilerek sürtünme ve tüylenmeye etkisi incelenmiştir. Sonuçta, iplik besleme açısının iplik tüylenme miktarı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı, iğne inceliği ve iğne sıklığının artmasının tüylenmeyi arttıracağı belirtilmiştir.

Dönmez ve Marmaralı (2004), iğne- iplik ve iplik-iplik sürtünmesini tahminleyecek bir model oluşturarak örme işleminden önce ipliklerin örülebilirliğini belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada %100 pamuk ve pamuk-polyester karışımı farklı büküm katsayılarına sahip 30 farklı iplik, 3 farklı ilmek uzunluğunda 1x1 rib örgü yapısında örülmüştür. Örme işlemleri gözlemlenerek makina duruşları, iplik kopuşları ve kumaştaki delikler kaydedilmiştir. İpliklerin düzgünsüzlük( % U, % $CV_m$), kalın yer, ince yer, neps sayıları, tüylülük, uzama ve kopma mukavemeti değerleri ölçülmüştür. Ölçülen iplik özelliklerine bağlı olarak iplik- iplik ve iplik- metal sürtünmesini hesaplayan bir denklem oluşturulmuştur.

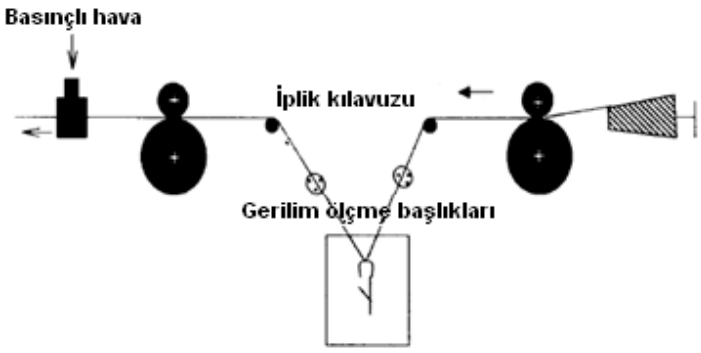
Bunun dışında ipliklerin sürtünme katsayıları bir düzenek yardımıyla da ölçülmüştür. Ölçümlerde giriş gerginliği için 6 cN belirlenmiştir ve çıkış gerginliği değerlerindeki değişim kaydedilmiştir. İğne- iplik ve iplik- iplik sürünmesi beş farklı hızda ölçülmüştür. (40, 55, 70, 85, 100 m/s) Her hız için 40 gözlem yapılmıştır(20'si

iplik-iplik sürtünmesi için, 20'si iğne-iplik sürtünmesi için) Her bir iplik için 3000'i iplik-iplik; 3000'i iğne-iplik sürünmesi olmak üzere 6000 değer kaydedilmiştir. İplik-iplik ve iğne-iplik sürtünme katsayısı değerleri Euler Denklemi'ne göre hesaplanmıştır.

Sonuçta ölçülen sürtünme katsayısı değerleri ile tahminlenen değerlerin birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.

İkinci aşamada ise ipliklerin örülebilirliğini tahminlemek amacıyla ikili logaritmik regresyon analizi kullanılarak sürtünme katsayıları, iplik sıkılık faktörü ve makina hızı değerleri kullanılmıştır. Sonuçlara bakıldığında modelin doğruluk derecesi oldukça yüksek çıkmıştır ve modelin istatistiksel olarak anlamlı çıkması sonucu kullanılabileceği belirtilmiştir.

Koo (2004), örme iğnesi üzerindeki iplik gerilimlerini incelemiştir. Temel amaç örme iğnesi ve iplik gerilim değişimleri arasında bir ilişki elde etmektir. Bu amaçla bir test düzeneği oluşturulmuş ve böylece örme makinalarında ipliğin izlediği yol simüle edilmiştir (Şekil 1.22).




Şekil 1.22 Örme makinalarında ipliğin izlediği yolu simüle eden düzenek (Koo,2004)

Bu çalışmada iplik besleme hızına bağlı değişimleri incelemek için iki farklı iğne inceliği kullanılmıştır: E18 ve E28. İplik olarak 20 tex numaraya sahip, Amerikan Pamuğu ring iplikleri kullanılmıştır. İplik besleme hızı 100-400 m/dak. arasında değiştirilmiştir.(100 m/ dak aralıklarla) Test süresi boyunca iğneden geçen ipliğin

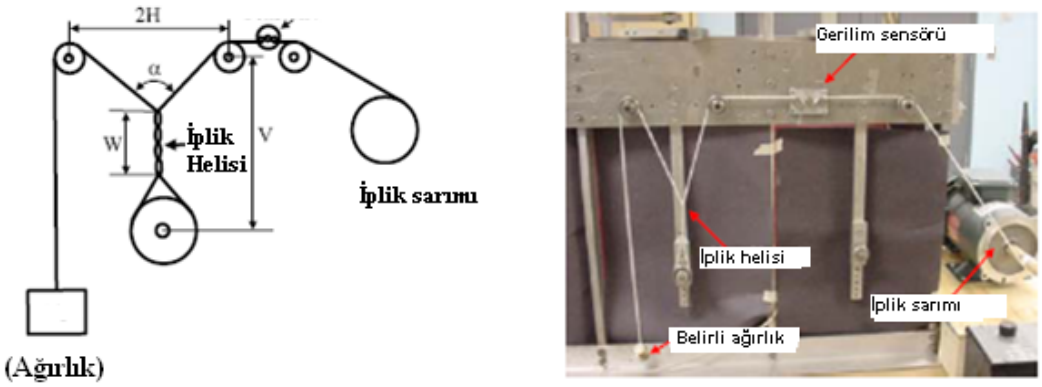
giriş gerilmesi 10 cN olacak şekilde ayarlanmış ve test düzeneğinden çıkıştaki gerilim değerleri kaydedilmiştir. Gerginlik ölçümü sırasında iki farklı inceliğe sahip örme iğnesi kullanılarak iplikler dar ve geniş açı olmak üzere iki farklı açıda sisteme beslenmiştir. Testler, gerilim değişimlerini gözlemlemek için farklı koşullarda 10 kez tekrarlanmıştır.

Çalışmada E18 ve E28 iğne inceliğine sahip iğnelerdeki iplik gerilimi üzerinde hızın etkisi incelenmiştir ve sonuç olarak iplik gerilim değerleri üzerinde iplik besleme hızının anlamlı bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca iğne inceliğinin ve besleme açısının iplik gerilim değerleri üzerine etkisi incelenmiştir. İğne kancasının eğikliği ve iğne-iplik temas yüzeyi gerilimi değiştiren başlıca belirleyici etken olarak düşünülmüştür. E18 iğneleri E28 iğnelerine göre daha fazla eğikliğe sahip olduklarından burada temas alanı daha azdır ve bu nedenle E28 iğnelerinde gerilim daha yüksek çıkmıştır. İkinci olarak, iplik besleme açıları gerilim üzerinde etkili olmuştur. Daha küçük açı ile daha fazla temas yüzeyi oluşmuş ve bu nedenle gerilim artmıştır.

Çalışma için hazırlanan düzenekte örme makinalarındaki örme noktalarındaki gibi kompleks bir yapı elde edilememiştir. Genellikle, örme işlemlerindeki iplik gerilimleri operatörler tarafından her örme noktası öncesinde kontrol edilmektedir. Bu da bu gerilmelerin belirlenmesinin tecrübeye bağlı olduğunu ve objektiflik açısından ve bilimsel açıdan bir önem taşımadığını göstermektedir.

Liu ve ark. (2006), Bükülmüş İplik Yöntemi (Şekil 1.23) ve Capstan Yöntemini (Şekil 1.24) kullanarak PP/ cam ipliklerinde iplik-iplik sürtünmesini ölçmüşlerdir. Çalışma kapsamında eksenel gerilme, iplikler arasındaki açı, iplik kayma hızı ve sıcaklık değiştirilerek testler yapılmıştır. Test sonuçları nümerik ve analitik modellerde kullanılarak “thermostamping” işlemleri boyunca kayma direnci ve şekil alabilirlik tahminlenmeye çalışılmıştır.

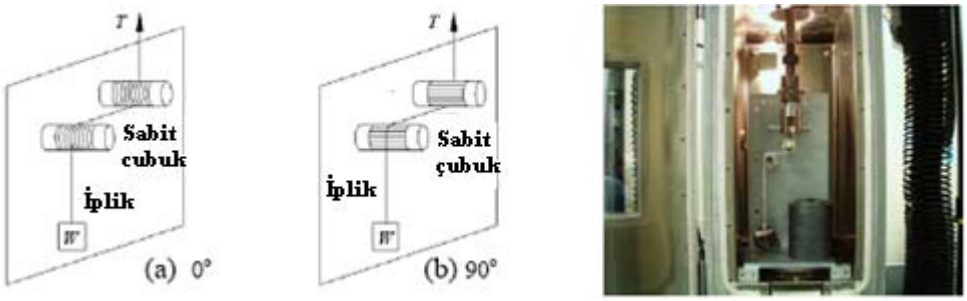
Bükülmüş iplik yönteminde ipliğin giriş gerginliği kontrol altında tutulmuştur.




Şekil 1.23 Bükülmüş iplik yöntemi (Liu ve ark., 2006)

Asılı ağırlık kullanıldığında yükte salınımla birlikte titreşimler ve değişimler olmaktadır. Bu nedenle ağırlık yerine gerilim ayarlayıcı konulabilir.

Capstan Yönteminde ise çıkış gerilmesi mukavemet ölçerindeki bir yük hücresi yardımıyla ölçülmüştür. Bu yöntemde açı(tek iplikle silindir arasındaki açı) değiştirilerek ölçüm yapılmıştır. Bükülmüş iplik yöntemi ve Capstan yönteminde kullanılan standart formüllere göre sürtünme katsayısı hesaplanmıştır.



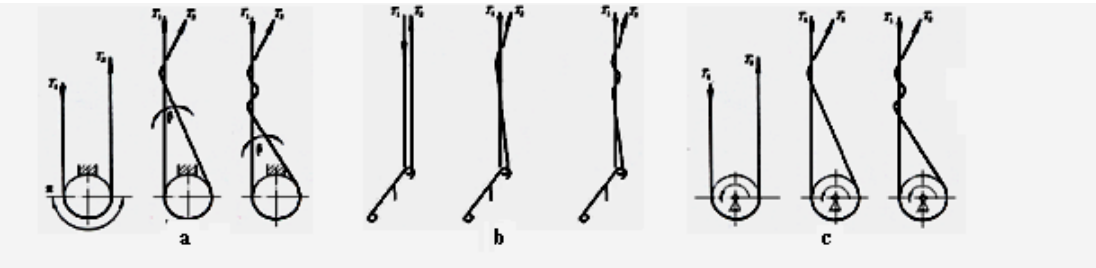

Şekil 1.24 Capstan yöntemi (Liu ve ark., 2006)

Sonuçta iplik eksenel gerilmesi arttıkça düzleşme artacağından sürtünmenin azaldığı, sıcaklık arttıkça (190ºC'ye kadar) polipropilen erimeye başlayacağından ve bunun da kayganlaştırıcı bir etkisi olacağından sürtünme katsayısının düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca iplik kayma hızı düşük olursa iplikler karmaşıklıktan kurtulmak için yeterli vakti bulacaklarından sürtünme katsayısının daha düşük

olduğu, kayma hızı yüksek olursa iplikler karmaşık yapıda kalacaklarından sürtünme katsayısının yüksek olduğu belirtilmiştir.

Svetnickenė ve Čiukas(2006), koruyucu giysi yapımında kullanılan örme kumaşlardaki teknik (SVM, fenilon, nomex) ve klasik (PA6, PAN, pamuk) ipliklerin sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. En yüksek sürtünme katsayısı değeri pamuk ve PA6 ipliklerinde, en düşük sürtünme katsayısı değeri Nomex ve PAN ipliklerinde gözlenmiştir. Ayrıca teknik ipliklerden SVM ve fenilonun daha yüksek sürtünme, nomexin ise daha düşük sürtünmeye sahip olduğu belirlenmiştir.

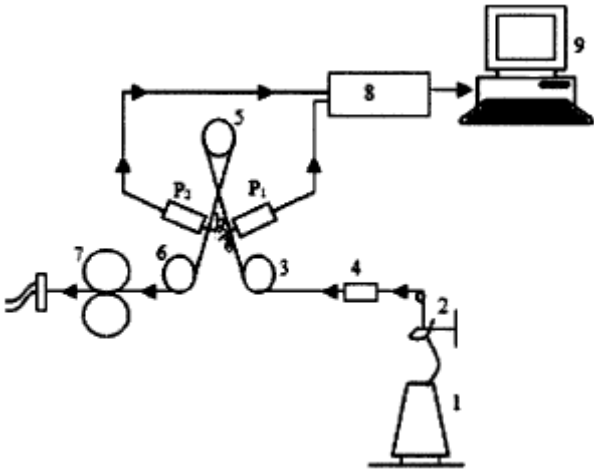
Capstan denklemini temel alarak koruyucu giysi yapımında kullanılan örme kumaşlardaki teknik ve klasik ipliklerin sürtünme davranışlarını incelerken üç farklı düzenek oluşturmuş ve bu düzenekler aracılığıyla iplik sürtünmesini belirlemiştir. Bu düzenekler sırasıyla ipliğin hareketsiz silindirden geçtiği sürtünme düzeneği, ipliğin örme iğnesinden geçtiği sürtünme düzeneği ve ipliğin hareketli silindirden geçtiği sürtünme düzeneğidir (Şekil 1.25). Üç yöntemde de iplik gerginliği arttıkça sürtünme kuvvetinin azaldığı ve bükümlü ipliklerde büküm miktarı arttıkça sürtünme dayanımının arttığı belirtilmiştir. İğne üzerindeki iplik sürtünme katsayısı değerleri silindirdekinden daha düşük çıkmıştır.




Şekil 1.25 İplik sürtünmesi ölçüm düzenekleri (Svetnickenė ve Čiukas,2006)
**a** İpliğin hareketsiz silindirden geçtiği düzenek **b.** İpliğin örme iğnesinden geçtiği düzenek **c.** İpliğin döner silindirden geçtiği düzenek

Ghosh ve ark. (2008), farklı üretim teknolojileriyle üretilmiş 30 tex numaraya sahip viskoz ipliklerin (friksiyon, rotor, ring ve hava jeti) farklı hız ve giriş

gerginliklerindeki iplik-iplik ve iplik- metal sürtünmelerini bir düzenek aracılığıyla incelemiş ve bu ipliklerin sürtünme özelliklerini karşılaştırmıştır.




Şekil 1.26 İplik-iplik ve iplik-metal sürtünmesi düzeneği (Ghosh ve ark., 2008)

Oluşturulan sistemde ipliklerin giriş gerginliği 2-4-6-8-10 cN arasında değiştirilirken her bir giriş gerginliği için 0,5-15-100-200 m/dak. hızlarla ölçüm yapılmıştır. İplik-iplik sürtünmesini ölçebilmek için Şekil 1.26'da görüldüğü gibi ipliğe katlama bükümü verilir ve 5 numaralı makaradaki sürtünme iptal edilir ve bu makara dönme yeteneğine sahiptir. İplik-metal sürtünmesi ölçülürken 5 numaralı makara sabittir ve iplikler bu makaradan geçirildikten sonra birbirine paralel olarak konumlandırılmıştır.

Çalışmanın sonunda ipliklerin yüzey karakteristiğinin, hız ve giriş gerginliklerinin sürtünme özellikleri üzerinde etkin bir role sahip olduğu söylenmiştir. Kaba iplik yüzeyinin daha yüksek iplik-iplik ve daha düşük iplik-metal sürtünmesine neden olduğu, hız arttıkça iplik-metal sürtünmesinin arttığı, iplik-iplik sürtünmesinde ise önemli bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Giriş gerginliği arttıkça ise iplik-iplik ve iplik-metal sürtünmesi için sürtünme kuvvetinin arttığı ve gerilme oranının ($T_2/T_1$) düştüğü sonucuna varılmıştır.

Ajayi ve Elder (1994), iplik sürtünmesi ve kumaş sürtünmesi arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla yaptıkları çalışmalarında yün, viskoz rayon, pamuk ve akrilik iplikler kullanmışlardır. Bu ipliklerin numaraları ve bükümleri birbirinden farklıdır.

Ayrıca yün, pamuk ve akrilik iplikler düz örgü ve rib örgü yapısında örülerek kumaşların sürtünme davranışlarının incelenmesi ve iplik sürtünmesi ile kumaş sürtünmesi arasındaki korelasyonun bulunması amaçlanmıştır. Çalışmada iplik-iplik sürtünmesi Capstan yöntemi ve Wira sürtünme ölçeri ile ölçülerek hem doğrusal hem de dairesel yüzeyde elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Kumaş sürtünmesi ise Instron çok amaçlı mukavemet ölçerine bağlanan bir aparat yardımıyla ölçülmüştür.

Sonuç olarak en yüksek sürtünme katsayısı yün ipliklerinde, en düşük sürtünme katsayısı akrilik ipliklerinde çıkmıştır. Ayrıca Capstan yöntemiyle ölçülen iplik-iplik sürtünme katsayısı değerleri, Wira yöntemiyle ölçülen değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Dairesel yüzeyde ölçülen sürtünme (Capstan yöntemi) düz yüzeyde ölçülen sürtünmenin (Wira yöntemi) yaklaşık iki katı çıkmıştır. Capstan yöntemi için sabitler: Capstan yarıçapı: 5.6 cm, Giriş gerginliği: 10 g±0,5, Sarım açısı: 3,4 radyan, Hız: 5 cm/dak., Wira lineer yöntem için sabitler: Normal yük: 50 g, Hız: 5 cm/dak. şeklindedir.

Çalışmada yüksek sürtünme katsayısına sahip ipliklerden yapılan kumaşların sürtünme katsayısının yüksek olacağı vurgulanmıştır. Ayrıca oluşabilecek deneysel değişkenliklere rağmen düz yüzeyde ölçülen iplik-iplik sürtünme katsayısı değerleri ile kumaş sürtünmesi arasındaki korelasyonun dairesel yüzeyde ölçülen değerlere oranla daha yüksek bir korelasyon sağladığı belirlenmiştir.

Wang ve Chang (1999), SDL 096/98 Tüylülük/ Sürtünme Cihazı'nda farklı teknolojilerde eğrilmiş, farklı hammaddelere sahip (pamuk ve yün) ipliklerin farklı hızlarda(20–60–100–140 m/dak.) tüylülüklerini incelemişlerdir. Bu cihazda ölçüm hızı arttıkça bulunan tüylülük değerlerinin azaldığı bununla birlikte elde edilen sonuçlara tüylülük yönünün yanı sıra sürtünme yüzeyinin etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Hızın artması nedeniyle iplik yüzeyindeki tüylerin yassılaşarak sürtünmeyi ve tüylülüğü düşürdüğü belirtilmektedir.

Bartlett ve ark. (1953), filament ipliklerin ve stapel liflerin sürtünme özelliklerini stick-slip metodunda tanımlandığı gibi belirlemişlerdir. Çalışmada, filament iplik

sürtünmesinde stick-slip sürecindeki kuvvetleri ve çekim işlemi sırasında stapel lifler arasındaki kuvvetleri ölçmek için kullanılan cihazlardan söz edilmektedir. Çalışmada, elektrikli uzama ölçerleri ve kayıt cihazları ölçüm ünitesine entegre edilerek, iplik ve lif örneklerinin hareketleri sırasında aniden ortaya çıkan kuvvetlerin daha doğru ölçülmesi sağlanmıştır. Böylece basit bir stick-slip döngüsünden yola çıkılarak sürtünmenin statik ve kinetik değerleri elde edilmiştir.

Schlatter ve ark. (1962), sürtünme noktalarının büyüklüğü ve yüzey pürüzlerinin çapı, iplik besleme açısının ve hızının iplik sürtünmesi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla caprolan filament ipliklerinin sürtünmesi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Hazırladıkları düzenekle iplik-iplik ve iplik-metal sürtünmesini ölçmüşlerdir. Sonuçta iplik besleme açısı ve hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü ve yüzey pürüzlerinin çapı ne olursa olsun sürtünmenin arttığı ancak yüzey pürüzlerinin çapı daha küçük olan yüzeylerde sürtünmenin daha keskin bir şekilde arttığı saptanmıştır.

Scardino ve Lyons (1967), iplik yüzey pürüzlülüğünün iplik sürtünme kuvvetine etkisini incelemek amacıyla poliester filament ipliklerinin sürtünmesini incelemişlerdir. Daha düşük $TiO_2$ içeren ipliklerde daha yüksek iplik- iplik ve iplik-metal sürtünmesi gözlemlemişlerdir.

Schick (1973), lif inceliğinin ve multifilament ipliklerdeki nemin iplik sürtünmesine etkisini incelemek amacıyla yaptığı çalışmada ipliklerdeki nemin artmasıyla birlikte temas alanının artacağını ve bunun da iplik sürtünmesini arttıracağını belirtmiştir.

Galuszynski ve Ellis (1983), yaptıkları çalışmada iplik geçiş hızı arttıkça sürtünme kuvvetinin öncelikle belirli bir miktar düştüğü, sonra çok az bir miktar artarak sabit kaldığını gözlemlemiştir. Aynı çalışmada gücü gözündeki sürtünme kuvvetini belirlemek amacıyla ipliğin giriş açısı, giriş gerginliği ve kılavuzların çapı değiştirilerek bu faktörlerin sürtünme üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada ipliklerin kılavuzlardan hareketi sırasında bir sürtünme kuvvetinin oluştuğunu, bunun

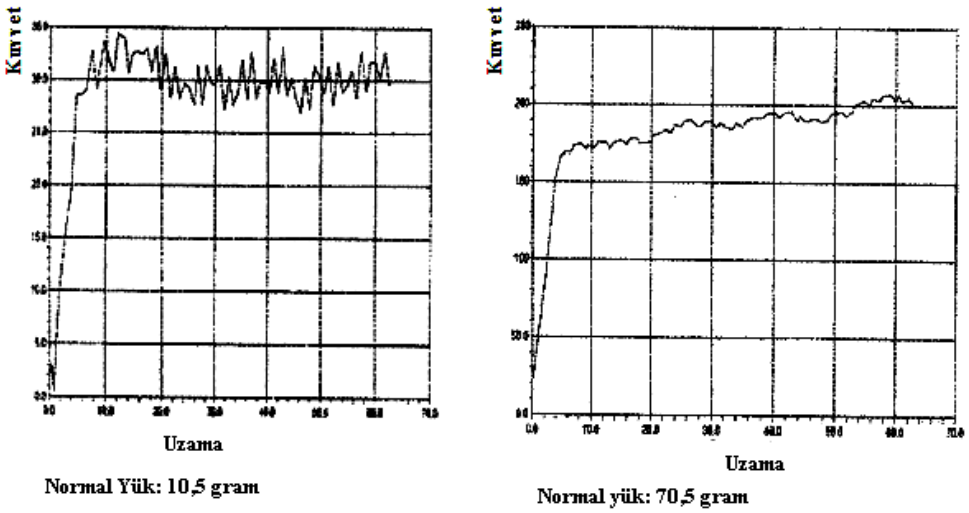
da kılavuz üzerindeki iplik gerginliğini arttırdığı belirtilmiştir. Sonuçta, giriş gerginliği ve besleme açısı arttıkça sürtünme kuvvetinin arttığı da ifade edilmiştir.

Kalyanaraman (1988), iplik numarasının sürtünme özelikleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yaptığı çalışmada lineer yoğunluk(tex) arttıkça yüksek temas alanı nedeniyle yüksek sürtünme katsayısı olduğunu gözlemlemiştir.

Gupta ve El Mogahzy (1989) ise polipropilen ve akrilik ipliklerini kullanarak, iplik sürtünme özelliklerine nemin etkisini incelemiş ve nemin artmasıyla iplik sürtünmesinin arttığı belirlenmiştir.

Chattopadhyay ve Banerjee (1996), inceledikleri ipliklerde büküm sayısının ve iplik eğirme teknolojisinin sürtünme özelliklerine etkisini incelemiş, pamuk, viskon ve poliester liflerinden üretilmiş ring, rotor ve friksiyon ipliklerinde büküm sayısının artmasıyla temas alanının düşmesi sonucu sürtünme kuvvetinin azalacağını belirtmişlerdir. Sürtünmenin eğirme hızı ve kılavuzda kullanılan materyal cinsine bağlı olduğu sonucuna vararak ipliklerin yapısal karakterinin ve ipliklerin sıkıştırılabilirliğinin de sürtünmeyi etkilediğini vurgulamışlardır.

Rankumar ve ark. (2003), hammaddenin iplik sürtünme özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla friksiyon eğirme teknolojisiyle üretilen farklı hammaddeler ve farklı karışımlardan oluşan (Kevlar, PES, PP, PA 6.0, pamuk) 12 adet ipliğin sürtünme katsayılarını belirlemişlerdir. Çalışmada iplik sürtünmesi Capstan yöntemi ile farklı hızlarda ve farklı giriş gerginliklerinde belirlenmiştir. Giriş gerginliği olarak dört farklı değer (10,5-30,5-50,5-70,5 gram) kullanılmıştır. Ayrıca bu gerginlik değerleri için ipliklerde oluşan stick-slip hareketi de incelenmiştir. Farklı gerginlik değerleri için stick-slip hareketi dikkate alındığında Şekil 1.27'de de görüldüğü gibi giriş gerginliği arttıkça stick- slip hareketinin azaldığı sonucuna varılmıştır.




Şekil 1.27 Farklı normal yükler altında stick-slip hareketi

Normal yük arttıkça iplik yapısından çıkan lif sayısı azalacağı, iplik yapısının düzleştiği ve düz yüzeyde ilerlemek daha kolay olacağından sürtünme katsayısının azalacağı belirtilmiştir. Ayrıca çalışmada aynı hammaddeden yapılan ipliklerde hızın etkisi incelendiğinde, hızla birlikte friksiyon iplik yapısındaki gerginliğin artacağı ve bunun da yine düz bir yüzey oluşturması sebebiyle sürtünmeyi düşeceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada friksiyon ipliklerindeki öz ipliği ve kemer liflerinin sürtünmeye etkisi de araştırılmıştır. Aynı hammaddeden oluşan ve öz ipliği daha kalın olan ipliklerin sürtünme değerlerinin daha yüksek çıktığı belirtilmiştir.

Zunic-Lojen ve Gersak (2003), çalışmalarında dikiş makinalarının kılavuzları üzerindeki sürtünmenin iplik yüzey özelliklerine bağlı olduğunu ve bunun da dikiş oluşum sürecinde gerilmeyi etkileyeceğini belirtmişlerdir. Dikiş işlemlerinde kullanılacak uygun ipliğin seçilebilmesi ve ipliklerin karşılaştırılabilmesi için iplik sürtünme katsayısının önemli bir etken olduğu vurgulanmıştır. Dikiş oluşum sürecindeki sürtünmenin çeşidini belirleme zorluğu nedeniyle karmaşık olduğu belirtilerek statik ve dinamik sürtünme dışında hızla orantılı olarak artan viskoz sürtünme üzerinde durulmuştur.

Araştırmada farklı iplik numaralarına sahip (2x10, 2x12,5, 2x15 tex) polyester iplikler kullanılarak farklı hız, açı ve gerginliklerde ölçümler yapılmıştır. Çalışmada açı($180^0$) ve giriş gerginliği(12 cN) sabit tutularak hız 1/10/20/30/60 m/dak olarak

değiştirilmiştir. Bunun sonucunda iplik kayma hızı arttıkça sürtünme katsayısının bir derece arttığı belirlenmiştir. Hız (60 m/dak) ve giriş gerginliği (12 cN) sabit tutulup açı etkisi incelendiğinde ise açının artmasıyla birlikte sürtünme katsayısının büyük oranda düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca iplik- çelik, iplik-seramik ve iplik-iplik sürtünmesi belirlenerek sürtünen yüzeyin iplik sürtünme katsayısına etkisi incelenmiştir. Sürtünme katsayısının çelik kılavuzlar kullanıldığında daha düşük çıktığı belirtilmiştir. Bunun dışında çalışmada dikiş makinasında bir kuvvet ölçeri (Fmeter) kullanılarak 1000 rpm dikiş hızı ve 3,35 radyanlık açı ile 2x10 tex ve 2x15 tex ipliklerin giriş ve çıkış gerginlikleri ölçüldüğünde daha kalın olan iplikte daha yüksek giriş ve çıkış gerginliği ölçülmüştür. Ancak çıkış ve giriş gerginliklerinin oranı dikkate alınarak hesaplanan statik sürtünme katsayısı değerlerinin birbirine oldukça yakın çıktığı belirlenmiştir.

Hansen ve Tabor (1957), yağlayıcı maddenin tekstil materyallerinin sürtünme davranışı üzerindeki etkisini incelemiş lif ve ipliklerde sürtünmeye etki eden hidrodinamik faktörleri belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada iplik sürtünme katsayısını hız (V), yağlayıcı viskozitesi (Z), normal kuvvet (W), pim yarıçapı (r) büyüklükleriyle ölçen bir model geliştirmişlerdir:

$$\mu = k\left\{\left(ZV/W\right) \quad r\right\}^{1/n} \tag{1.19}$$

Sonuç olarak monofilamentlerde sürtünme davranışının direkt olarak yağlayıcı viskozitesi ile ilgili olmadığı, ancak ipliklerin sürtünme davranışının yağlayıcı viskozitesinden ve hidrodinamik faktörlerden büyük oranda etkilendiği belirtilmiştir. Düşük hızlarda ve büyük yüklerden yani düşük (ZV/W) değerlerinde hidrodinamik sürtünmenin gözlenmediği yüksek (ZV/W) değerlerinde hidrodinamik sürtünmenin meydana geldiği söylenmiştir. Çalışmada yağlanmamış iplikte oluşan sürtünme değişimi ile yağlanmış iplikte oluşan sürtünme değişiminin birbirine benzediği ve yağlayıcı filmin etkisinin buradan yola çıkılarak bir dereceye kadar anlaşılabileceği belirtilmiştir.

Lang ve ark. (2003), sentetik ipliklerin işlemler sırasındaki davranışlarını incelemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Sentetik ipliklerde eğirme işlemleri boyunca sürtünmeyi minimize etmek amacıyla mineral yağ kullanıldığını ve sentetik ipliklerde sürtünmenin hız, kılavuz pürüzlülüğü, film kalınlığı ve yağlayıcı viskozitesine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada ipliğin silindirlerden geçmesi durumunda kullanılan formülün yağlayıcı film etkisi dikkate alındığında sentetik iplikler için geçersiz olduğunu belirtmişlerdir.

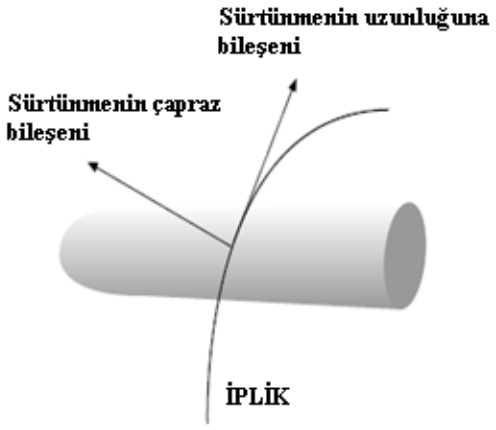
Çalışmada sentetik liflerden oluşan iplikler için üç sürtünme mekanizması belirlenmiştir:

1. Sınır Sürtünmesi: İplik yüzeyi ve kılavuz yüzeyi birbiriyle her noktada temas eder.
2. Yarı Sınır Sürtünmesi: İplik yüzeyi ile kılavuz yüzeyi aralıklı olarak temas eder.
3. Hidrodinamik Sürtünme: İplik yüzeyi ve kılavuz yüzeyi yüksek sürtünme kuvvetine sahip yağ filmi ile ayrılmıştır. Bu sürtünme çeşidinde iplik ile kılavuz yüzeyi arasındaki sürtünme daha çok yağın özelliklerine bağlıdır.

Çalışmada işlemler sırasında film kalınlığının azalmasına bağlı olarak hidrodinamik sürtünme, yarı sınır ve sınır sürtünmesine dönüşeceği belirtilmiş, bu dönüşüm incelenmiş, hidrodinamik sürtünmenin olması gereken efektif uzunluğu ile ilgili yeni teorik bir formül geliştirilmiştir. Efektif hidrodinamik sürtünme uzunluğu ne kadar fazla ise pürüzlülüğün o kadar az olacağı belirtilmiştir.

Sonuçta sürtünme mekanizmasının kılavuz yüzey pürüzlülüğüne bağlı olması nedeniyle pürüzlülüğün çok önemli olduğu, hidrodinamik sürtünmenin yağın kayma direnci ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Kılavuzlarda pürüzlülüğün azalmasıyla hidrodinamik sürtünmenin artacağı ve sürtünme kuvvetlerinin karmaşıklığı nedeniyle iplik ve kılavuzlar arasındaki sürtünmenin girişteki ile aynı kalmayacağı, sürekli değişeceği ve bu nedenle Euler denkleminin hidrodinamik sürtünmeyi açıklamak için yetersiz kalacağı vurgulanmıştır.

Marcicano ve ark.(2004), çalışmalarında iplik sürtünmesinin yalnızca uzunluğuna bileşeninin incelendiğini ve çapraz bileşeninin göz ardı edildiğini belirterek çapraz sürtünmeyi belirlemek amacıyla bir sistem ve bir teorik model geliştirmeyi planlamışlardır. Özellikle ring iplikçiliğinde balon oluşumu sırasında ve dokuma tezgahındaki taraklarda sürtünmenin çapraz bileşeninin çok önemli olduğunu vurgulamışlardır.




Şekil 1.28 Sürtünmenin çapraz ve uzunluğuna bileşeni (Marcicano ve ark., 2004)

Çalışmada, sürtünmenin belirlenmesi için bir teorik geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, iplik balon oluşturucu bir sistem geliştirilerek oluşturulan balonun teorik analizi yapılmış, çapraz doğrultudaki sürtünme bileşeninin büyüklüğü belirlenmiştir. Bu konuyla ilgili başka bir cihaz olmaması nedeniyle çapraz doğrultudaki sürtünme katsayısı aynı sistemde çeşitli aparatlar (ayna, fotoğraf makinası) yardımıyla ölçülmüştür. Sonuç olarak geliştirilen teorik model ile ölçüm sonuçlarının yüksek uyum sağladığı ve geliştirilen cihazın çapraz sürtünme katsayısını belirlemede kullanılabileceği belirtilmiştir.

## 1.9 Çalışmanın Amacı

Sürtünme, kaliteyi, yapılan işlemlerin etkinliğini ve ürünün performansını etkilediği için liften kumaşa bütün tekstil materyalleri için önemli bir özelliktir. Ayrıca sürtünme, iplik oluşumundan son ürüne kadar tekstil materyallerinin tüm üretim aşamalarında ortaya çıkan bir özellik olduğundan liflerin, ipliklerin ve kumaşların sürtünme özelliklerinin incelenmesi, işlem parametrelerinin sürtünme üzerine etkisinin ve elde edilecek ürünün özelliklerinin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Tekstilde sürtünme alanında daha önce de birçok çalışma yapılmasına rağmen anlaşılması, belirlenmesi ve kontrol altına alınması güç olan özelliklerden biri olduğu için günümüzde de sürtünme ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

Bu çalışma kapsamında iplik yapısal özellikleri ve test koşullarının iplik sürtünmesine etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmanın deneysel bölümünde farklı yapısal özelliklere sahip (hammadde, büküm katsayısı, üretim teknolojisi) sistematik olarak üretilmiş ipliklerin farklı test koşullarında (farklı giriş gerginlikleri ve farklı sürtünme yüzeyleri) sürtünme özellikleri incelenecektir. Çalışmada son zamanlarda kullanımı yaygınlaşan Tencel lifi kullanılarak elde edilen %100 Tencel, %50/50 Pamuk/Tencel iplikler ile %100 pamuk ipliklerin sürtünme davranışları incelenerek bu ipliklerin sürtünme özellikleri hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmaktadır.

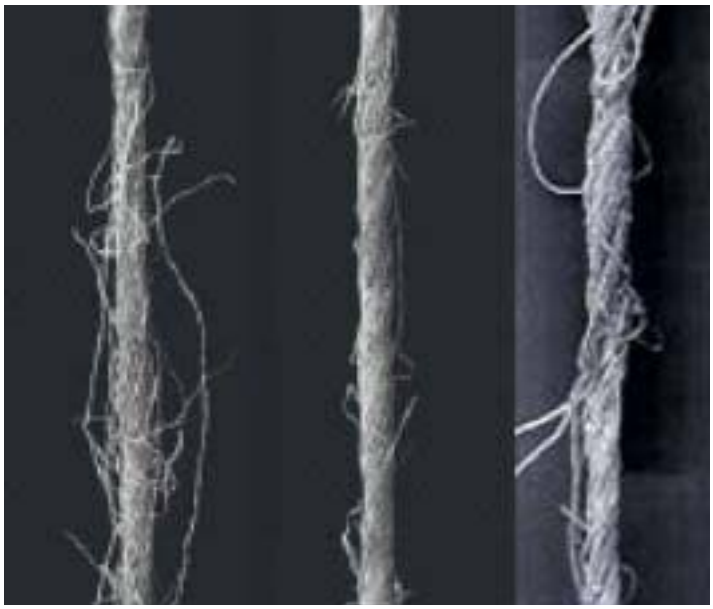
Bu sayede iplik sürtünmesini etkileyen birçok faktörün aynı anda incelenmesi için kapsamlı bir deney planı oluşturularak farklı yapısal özelliklere sahip ipliklerin farklı test koşullarında iplik sürtünme testlerinin gerçekleştirilmesiyle iplik sürtünme katsayısı sonuçlarına ait ayrıntılı bir veri tabanı elde edilmesi planlanmaktadır.

# BÖLÜM İKİ
# MATERYAL VE METOT

## 2.1 Materyal

İplik yapısal özelliklerinin ve sürtünme test parametrelerinin iplik sürtünme özelliklerine etkisini inceleyebilmek amacıyla deney materyali olarak sistematik olarak üretilmiş iplikler kullanılması planlanmıştır. Bu amaçla deneysel çalışmada D.E.Ü. Müh. Fak Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde yürütülen "Karışım İpliklerinde Düzgünsüzlük ve Tüylülük Analizleri" isimli doktora tez çalışması kapsamında kontrollü olarak üretilmiş yaklaşık 70 farklı tipteki iplikten seçim yapılarak 15 tip iplik kullanılmıştır. Her bir tipte beşer kops olmak üzere toplam 75 kops iplik test edilmiştir. Deney planı oluşturulurken farklı üretim teknolojileri, farklı hammadde ve farklı büküm katsayılarına sahip ipliklerin farklı yüzey özellikleri göstereceği ve bunun da sürtünme özelliklerini değiştireceği düşünülmüştür. Deneysel çalışmada kullanılan ipliklerin özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir. Tablo 2.1'den görüldüğü gibi tip no 1-9 arasındaki iplikler ring eğirme teknolojisiyle üretilmiş $\alpha_e$=3,4, 3,7 ve 4,0 büküm katsayısına sahip %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel ipliklerdir. Tip no 10-12 arasındaki iplikler kompakt eğirme teknolojisiyle üretilmiş $\alpha_e$= 3,7 büküm katsayısına sahip %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel ipliklerdir. Tip no 13-15 arasındaki iplikler vortex eğirme teknolojisiyle üretilmiş $\alpha_e$= 3,7 büküm katsayısına sahip %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel ipliklerdir. Deneysel çalışmada kullanılan bütün iplikler Tablo 2.1'de görüldüğü gibi Ne 30 numaraya sahip tek katlı ipliklerdir.

Deneysel çalışmada kullanılan ring, kompakt ve vortex eğirme teknolojisi ile üretilmiş ipliklerin yüzey özellikleri arasındaki fark Şekil 2.1'de net bir şekilde görülmektedir. Şekil 2.1'de ring ve kompakt ve vortex ipliklerin elektron mikroskobu görüntüleri bulunmaktadır. Vortex iplikte bulunan kemer lifleri nedeniyle yapısı diğer ipliklerden oldukça farklıdır.



**Ring** **Kompakt** **Vortex**

Şekil 2.1 Ring, kompakt ve vortex ipliklerin elektron mikroskobu görüntüleri (Basal, 2003)

Tablo 2.1'de görüldüğü gibi deneysel çalışmada kullanılan iplikler farklı hammaddeler içermektedir. Pamuk ve Tencel lifinin yüzeyleri birbirleriyle karşılaştırılırsa pamukta düzensiz ve pürüzlü bir yüzey görülürken Tencel düz ve pürüzsüzdür. (Şekil 2.2). Ayrıca pamuğun enine kesiti fasulye şeklinde, Tencel lifinin enine kesiti daire şeklindedir. İpliği oluşturan liflerin bu özelliklerinin de sürtünme testi sonuçlarını etkileyeceği düşünülmektedir.



**a** **b**

Şekil 2.2 Pamuk ve Tencel lifinin yüzey görünümleri (a-Pamuk, b- Tencel) (http://www.tencel.at/index.php?id=38&L=1)

Tablo 2.1 Deneysel çalışmada kullanılan ipliklerin yapısal özellikleri

| Tip No | İplik No | Hammadde | Eğirme Tek. | Büküm Kat. ($\alpha_e$) |
|---|---|---|---|---|
| **1** | Ne 30 (20tex) | % 100 Pamuk | Ring | 3,4 |
| **2** | Ne 30 (20tex) | % 100 Pamuk | Ring | 3,7 |
| **3** | Ne 30 (20tex) | % 100 Pamuk | Ring | 4,0 |
| **4** | Ne 30 (20tex) | % 50/50 Pamuk/ Tencel | Ring | 3,4 |
| **5** | Ne 30 (20tex) | % 50/50 Pamuk/ Tencel | Ring | 3,7 |
| **6** | Ne 30 (20tex) | % 50/50 Pamuk/ Tencel | Ring | 4,0 |
| **7** | Ne 30 (20tex) | % 100 Tencel | Ring | 3,4 |
| **8** | Ne 30 (20tex) | % 100 Tencel | Ring | 3,7 |
| **9** | Ne 30 (20tex) | % 100 Tencel | Ring | 4,0 |
| **10** | Ne 30 (20tex) | % 100 Pamuk | Kompakt | 3,7 |
| **11** | Ne 30 (20tex) | % 50/50 Pamuk/ Tencel | Kompakt | 3,7 |
| **12** | Ne 30 (20tex) | % 100 Tencel | Kompakt | 3,7 |
| **13** | Ne 30 (20tex) | % 100 Pamuk | Vortex | 3,7 |
| **14** | Ne 30 (20tex) | % 50/50 Pamuk/ Tencel | Vortex | 3,7 |
| **15** | Ne 30 (20tex) | % 100 Tencel | Vortex | 3,7 |

Araştırma sonuçlarının açıklamasında yararlanılabileceği düşüncesiyle deneysel çalışmada kullanılan ipliklerin düzgünsüzlük değerleri ve gerçekleşen büküm değerleri Tablo 2.2 ve Tablo 2.3 verilmektedir.

Tablo 2.2 Deneysel çalışmada kullanılan ipliklerin düzgünsüzlük değerleri*

| TİP NO | Hammadde | Eğirme Tek. | CVm% | İnce Yer -% 50 (adet/km.) | Kalın Yer +%50 (adet/km.) | Neps +%200 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | % 100 Pamuk | Ring | 12,36 | 1,0 | 27,8 | 67,5 |
| 2 | % 100 Pamuk | Ring | 12,51 | 0,8 | 28,3 | 79,1 |
| 3 | % 100 Pamuk | Ring | 12,42 | 0,7 | 24,9 | 64,5 |
| 4 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 11,73 | 0,2 | 16,8 | 47,3 |
| 5 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 11,72 | 0,3 | 19,7 | 47,6 |
| 6 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 11,75 | 0,2 | 21,1 | 50,0 |
| 7 | % 100 Tencel | Ring | 11,71 | 0,0 | 7,3 | 17,9 |
| 8 | % 100 Tencel | Ring | 11,59 | 0,1 | 7,3 | 18,9 |
| 9 | % 100 Tencel | Ring | 11,87 | 0,0 | 8,3 | 15,8 |
| 10 | % 100 Pamuk | Kompakt | 11,99 | 0,2 | 19,1 | 55,3 |
| 11 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Kompakt | 11,06 | 0,0 | 13,7 | 42,5 |
| 12 | % 100 Tencel | Kompakt | 11,55 | 0,2 | 7,7 | 19,8 |
| 13 | % 100 Pamuk | Vortex | 15,22 | 42,5 | 53,4 | 93,6 |
| 14 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Vortex | 12,95 | 2,6 | 18,1 | 44,8 |
| 15 | % 100 Tencel | Vortex | 12,74 | 2,0 | 6,6 | 10,4 |

*Tablodaki veriler Araş. Gör. Musa KILIÇ'ın doktora tezi kapsamında yapmış olduğu deneysel çalışmadan elde edilmiştir.

Tablo 2.2'de görüldüğü gibi en yüksek düzgünsüzlük değeri %100 pamuk vortex ipliklerine aittir. İnce yer değeri diğer ipliklerde 3 adet/km'yi geçmezken bu iplikte 42,5 adet/km'dir.

Tablo 2.3'te deneysel çalışmada kullanılan ipliklerin gerçekleşen büküm katsayısı değerleri ve bu değerlerin teorik büküm katsayısı değerleri ile arasındaki farklar görülmektedir.

Tablo 2.3 Deneysel çalışmada kullanılan ipliklerin teorik ve gerçekleşen büküm katsayısı farkları*

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | % CV | Fark(%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | % 100 Pamuk | Ring | 3,316 | 2,74 | +2,47 |
| 2 | % 100 Pamuk | Ring | 3,679 | 3,98 | +0,57 |
| 3 | % 100 Pamuk | Ring | 3,839 | 2,66 | +4,03 |
| 4 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,38 | 3,73 | +0,59 |
| 5 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,59 | 3,37 | +2,97 |
| 6 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 4,0 | 1,97 | +1,2 |
| 7 | % 100 Tencel | Ring | 4,357 | 2,74 | -28,15 |
| 8 | % 100 Tencel | Ring | 3,666 | 3,18 | +0,92 |
| 9 | % 100 Tencel | Ring | 5,033 | 2,29 | -25,83 |
| 10 | % 100 Pamuk | Kompakt | 3,786 | 2,18 | -2,32 |
| 11 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Kompakt | 3,883 | 3,47 | -4,95 |
| 12 | % 100 Tencel | Kompakt | 3,873 | 3,72 | -4,68 |

*Tablo, Araş. Gör. Musa KILIÇ'ın doktora tezi kapsamındaki çalışmasından yararlanılarak hazırlanmıştır.

Tablo 2.3'te son sütunda bulunan farklar şu şekilde hesaplanmıştır:

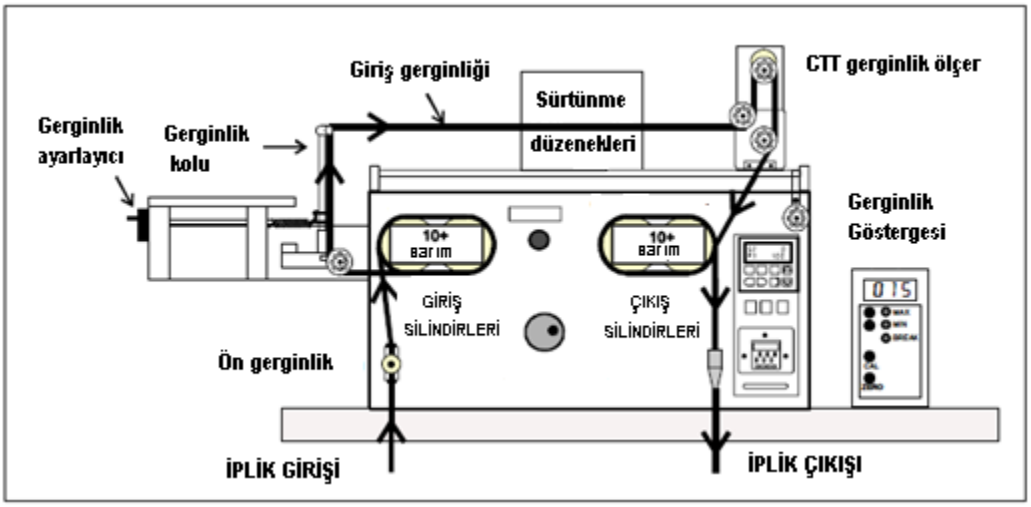
$$Fark\,(\%) = \frac{Teorik\ büküm\ katsayısı - Gerçekleşen\ büküm\ katsayısı}{Teorik\ büküm\ katsayısı}$$

## 2.2 Metot

Deneylerin tamamı Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Fiziksel Tekstil Muayeneleri Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan Lawson Hemphill CTT(Constant Tension Transport) İplik Sürtünmesi Test Cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 2.3) Cihazda bulunan dört farklı gerginlik kolu aracığı ile test edilecek ipliğe 1 cN-700 cN aralığında giriş gerginliği uygulanabilmektedir. İplik, cihaz üzerindeki kılavuzlardan ve ölçüm sırasında kullanılacak olan yüzeye göre (iplik, metal veya seramik) cihazın üzerine yerleştirilen sürtünme düzeneklerinden geçirilmektedir (Şekil 2.4) ve gerginlik ölçer (tensionmeter) aracılığı ile çıkış gerginliği ölçülmektedir. Cihazın çalışma prensibi iplik-iplik, iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme testlerinin tamamında aynıdır. Cihaz, çıkış ve giriş gerginliği değerlerini kullanarak farklı yüzeylere göre ortalama sürtünme katsayısı değerini hesaplanmaktadır. Sürtünme katsayısını hesaplamak amacıyla kullanılan çıkış gerginliği değerleri ölçümün yapıldığı anda gerginlik ölçer tarafından ölçülen ve kaydedilen çıkış gerginliği değerleridir. Giriş gerginliği değerleri ise kullanıcı tarafından uygun gerginlik kolu cihaza yerleştirilerek ayarlanabilmektedir.



Şekil 2.3 Lawson Hemphill CTT İplik Sürtünmesi Test Cihazı (Lawson Hemphill, CTT İplik Sürtünmesi Test Cihazı Kullanım Kılavuzu)




Şekil 2.4 İplik sürtünmesi test cihazında test edilecek ipliğin geçişi (Lawson Hemphill, CTT İplik Sürtünmesi Test Cihazı Kullanım Kılavuzu)

Deneyler, 100 m/dk. sabit hız altında iplik-iplik, iplik-metal ve iplik seramik olmak üzere üç farklı sürtünme yüzeyi ve üç farklı giriş gerginliği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sürtünme yüzeyleri açısından bakıldığında tezin giriş bölümünde Şekil 1.13'te belirtildiği gibi ipliklerin kullanımı ve işlenmeleri sırasında en çok sürtünmeye maruz kaldığı yüzeyler iplik, seramik ve metal yüzeylerdir. Bu nedenle sürtünme testlerinde bu yüzeyler kullanılmıştır.
İplikler, gördüğü işlemler ve kullanım sırasında farklı sürtünme yüzeylerine farklı gerginlikler altında temas etmektedir. Kullanıma uygun testler yapabilmek amacıyla testler aynı zamanda üç farklı giriş gerginliğinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.4'te deneysel çalışmada kullanılan giriş gerginliği değerleri sürtünme yüzeyleri dikkate alınarak verilmektedir.

Tablo 2.4 Deneysel çalışmada kullanılan giriş gerginlikleri

| **İplik-iplik** | | | **İplik-metal** | | | **İplik-seramik** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Giriş gerginliği(cN) | | | Giriş gerginliği(cN) | | | Giriş gerginliği(cN) | | |
| 2,5 | 10 | 15 | 15 | 60 | 90 | 15 | 60 | 90 |

Bütün sürtünme yüzeyleri ile gerçekleştirilen deneylerde ortak giriş gerginliği olarak 15 cN kullanılmıştır. Giriş gerginliğinin bu değeri iplik-iplik sürtünmesi için

en yüksek giriş gerginliği değeri olarak alınmıştır. Literatür incelendiğinde iplik-iplik sürtünme katsayısı belirlemek amacıyla yapılan çalışmalarda giriş gerginliğinin maksimum 10 cN'a çıkarılabildiği görülmüştür. Araştırmada kullanılan ipliklerle yapılan ön denemelerde de 15 cN'dan daha büyük giriş gerginliği değerlerinde ipliklerde kopuş meydana geldiği ve iplik-iplik sürtünmesi testinin yapılamadığı görülmüştür. Bu nedenle iplik-iplik sürtünmesi test sonuçlarının karşılaştırılabilir olması için giriş gerginlikleri 2,5 cN, 10 cN ve 15 cN olacak şekilde sistematik olarak arttırılmıştır.

İplik-metal ve iplik-seramik sürtünme testleri için Lawson Hemphill firması tarafından 3 cN/tex giriş gerginliği tavsiye edilmektedir. Bu durumda, araştırmada kullanılan Ne 30 (20tex) ipliklerin iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme testleri için 60 cN uygun olmaktadır. Farklı giriş gerginliklerinin iplik sürtünme özelliklerine etkisini inceleyebilmek amacıyla, 60 cN giriş gerginliğine ek olarak daha yüksek (90 cN) ve daha düşük (15cN) giriş gerginlikleri kullanılarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Deneysel çalışma kapsamında tüm tiplerden beşer adet kops test edilmiştir. Her bir kops için ölçüm uzunluğu 20 metredir. Ölçüm uzunluğunda toplam 100 adet ölçüm(her 20 cm'de bir ölçüm) gerçekleştirilerek 100 adet çıkış gerginliği ve sürtünme katsayısı değeri elde edilmiştir. Sonuçta incelenen her tip için toplam 100 metre ölçüm yapılmış ve 500 adet veri elde edilmiştir. Ölçümler sırasında kaydedilen çıkış gerginliği değerleri Microsoft Excel programına aktarılarak her bir tip için ölçülen 500 adet çıkış gerginliği değerinden bütün iplikler için ortalama sürtünme katsayısı ve değişim katsayısı değeri hesaplanmıştır. Ayrıca kaydedilen çıkış gerginliği değerlerinden ve cihazda belirlenen giriş gerginliği değerlerinden bütün iplikler için (çıkış gerginliği ($T_2$) / giriş gerginliği ($T_1$)) oranı hesaplanmış ve bütün sürtünme yüzeylerinde ortak olan 15 cN giriş gerginliğinde iplik-iplik, iplik-metal ve iplik-seramik sürtünmesinin değerlendirilmesi amacıyla bu değerler de kullanılmıştır.

Ayrıca Bölüm 4'te sonuçlar değerlendirilirken karşılaştırma yapabilmek amacıyla yüzdesel olarak farkların hesaplandığı tablolar da kullanılmıştır. Bu tabloda bulunan değerlerin hesaplanmasında kullanılan formül şu şekildedir:

$$\left(\frac{B-A}{B}\right) * 100$$

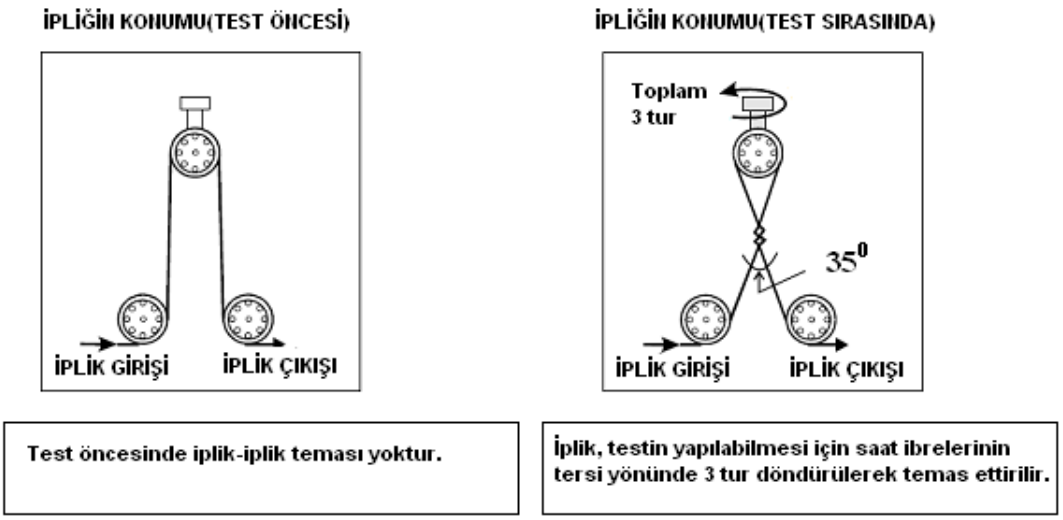
Örneğin, kompakt ve ring ipliklerinin sürtünme katsayıları arasındaki fark aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\left(\frac{\mu_{kompakt} - \mu_{ring}}{\mu_{kompakt}}\right) * 100$$

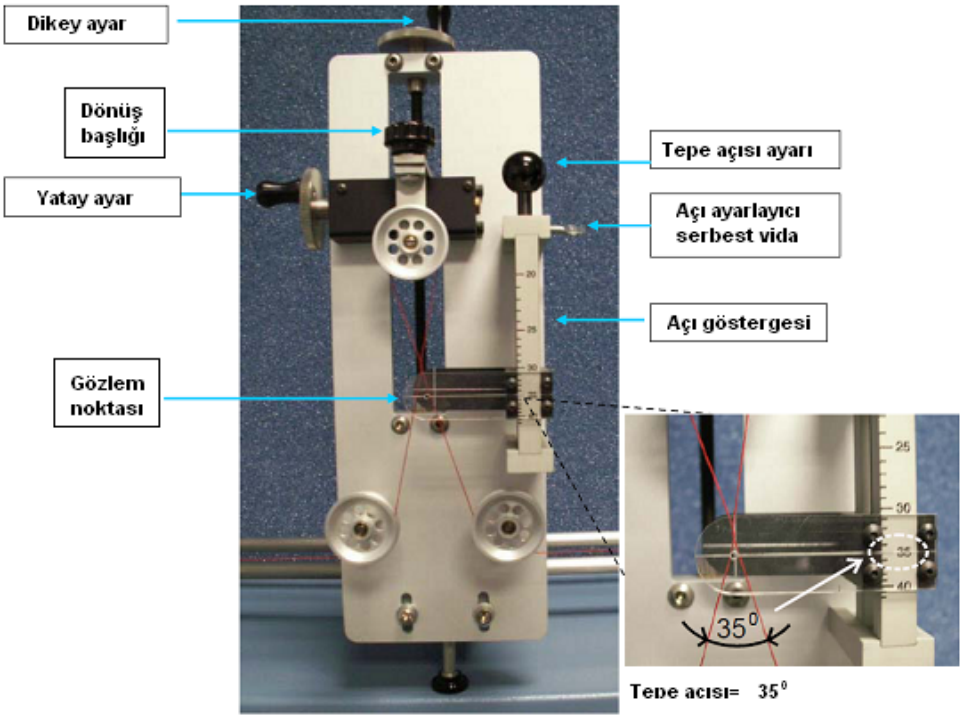
Bundan sonraki bölümde iplik-iplik ve iplik-materyal sürtünmesi (seramik ve metal) ölçümü ve sürtünme katsayısının hesaplanmasına ilişkin detaylı bilgi verilmektedir.

### *2.2.1. İplik-İplik Sürtünmesinin Ölçümü ve Sürtünme Katsayısının Hesaplanması*

İplik-iplik sürtünmesi testinde iplik kendi üzerinde 3 tur attırılarak ölçüm gerçekleştirilmektedir (ASTM D 3412-01). Cihaz, giriş ve çıkış gerginliği değerlerini, ipliğin kendi üzerinde attığı tur sayısını ve iplikler arasındaki açıyı dikkate alarak iplik-iplik sürtünme katsayısını hesaplamaktadır. Şekil 2.5 ve 2.6'da iplik-iplik sürtünmesi testi için hazırlık aşaması ve ipliğin geçiş şekli görülmektedir.




Şekil 2.5 İplik-iplik sürtünmesi testlerinde ipliğin konumu (a)test öncesi, (b)test sırasında (CTT İplik Sürtünmesi Test Cihazı Kullanım Kılavuzu)




Şekil 2.6 İplik-iplik sürtünmesi düzeneği (CTT İplik Sürtünmesi Test Cihazı Kullanım Kılavuzu)

Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'dan görüldüğü gibi iplik-iplik sürtünmesi testlerinde ipliğe saat ibrelerinin tersi yönünde toplam üç tur attırılır ve bu şekilde standartta istenen $900^0$'lik sarım açısı elde edilir. Dikey ve yatay ayarlama yapabilen vidalar

sayesinde ipliklerin bütün testlerde aynı nokta üzerinde birbirine temas etmesi ve tepe noktasında 35° olması sağlanır. (Şekil 2.4)

Cihazın yazılımı Eşitlik 2.1'i kullanarak iplik-iplik sürtünme katsayısını hesaplamaktadır.

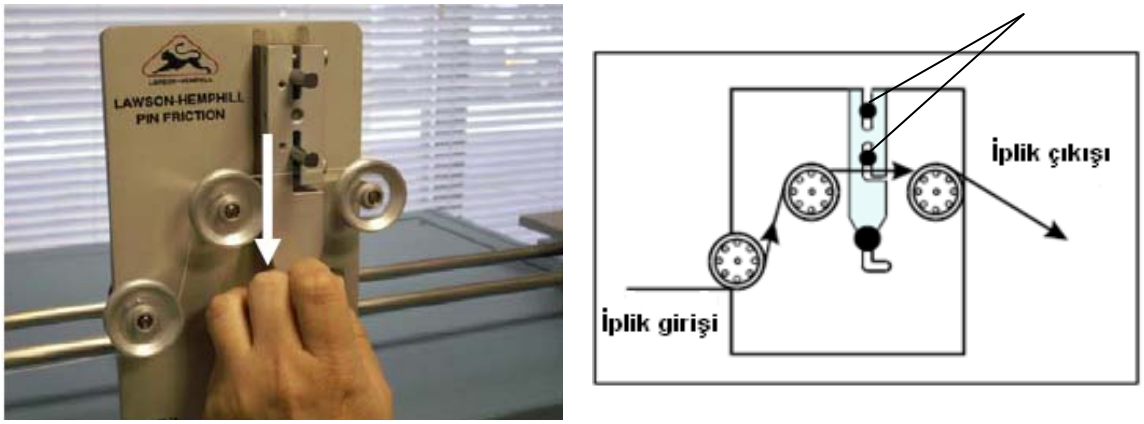
$$\mu = \frac{\ln(T_2 / T_1)}{4\pi(n - 0{,}5)\sin\beta/2} \qquad (2.1)$$

μ= İplik-iplik sürtünme katsayısı
$T_2$=Çıkış gerginliği
$T_1$=Giriş gerginliği
β=35° (İplikler arasındaki açı)
n= 3 (İpliğin kendi üzerinde attığı tur sayısı)

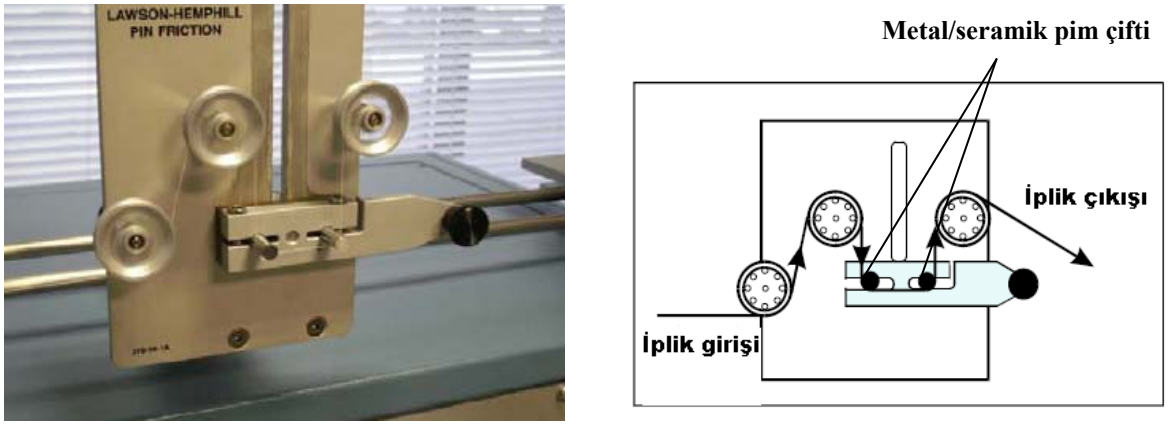
### *2.2.2. İplik-Metal ve İplik-Seramik Sürtünmesinin Ölçümü ve Sürtünme Katsayısının Hesaplanması*

İplik-metal ve iplik-seramik sürtünmesi testleri için cihaza iplik-iplik sürtünmesi ölçümünde kullanılandan farklı bir düzenek eklenmekte ve sürtünme katsayısı farklı bir formülle hesaplanmaktadır. Bu düzenekte yalnızca ipliğin temas ettiği pim çifti (metal, seramik) değiştirilerek iplik-metal ve iplik-seramik sürtünmesi ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.7 ve 2.8'de ipliğin iplik-metal ve iplik-seramik testi öncesinde ve test sırasında izlediği yol gösterilmektedir.

**Metal/seramik pim çifti**

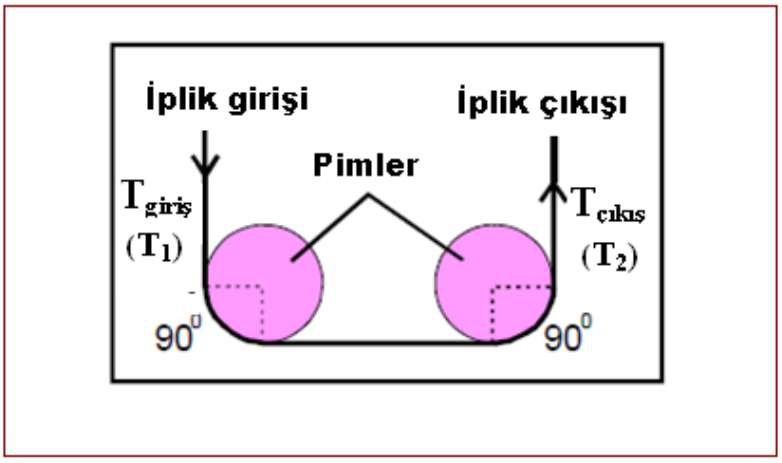



Şekil 2.7 İplik-materyal sürtünmesi testi öncesinde ipliğin konumu (CTT İplik Sürtünmesi Test Cihazı Kullanım Kılavuzu)




Şekil 2.8 İplik-materyal sürtünmesi sırasında ipliğin konumu(CTT İplik Sürtünmesi Test Cihazı Kullanım Kılavuzu)

İplik- iplik sürtünmesinde olduğu gibi cihaz, giriş ve çıkış gerginliği değerlerini ve toplam sarım açısını dikkate alınarak sürtünme katsayısını hesaplamaktadır. Şekil 2.9'da toplam sarım açısı(180º) şematik olarak gösterilmektedir.




Şekil 2.9 İplik-metal sürtünmesinde toplam sarım açısı (CTT İplik Sürtünmesi Test Cihazı Kullanım Kılavuzu)

Cihazın yazılımı Eşitlik 2.2'yi kullanarak iplik-materyal(iplik-metal ve iplik-seramik) sürtünme katsayısını hesaplamaktadır.

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}{\theta} \qquad (2.2)$$

μ=İplik-materyal sürtünme katsayısı
$T_2$=Çıkış gerginliği
$T_1$=Giriş gerginliği
θ= Toplam sarım açısı(radyan)

## 2.3 Sonuçların İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

Farklı yapısal özelliklere (hammadde, eğirme teknolojisi, büküm katsayısı) sahip ipliklerin farklı test koşullarında (giriş gerginliği, sürtünme yüzeyi) sürtünme katsayısı değerleri 2.2 Metot bölümünde belirtildiği gibi ölçüldükten ve ortalamaları hesaplandıktan sonra her bir kopsa ait ortalama sürtünme katsayısı değerleri ile Excel programında çizgi grafikleri oluşturulmuş ve görsel değerlendirmeler yapılmıştır. İstatistiksel analiz yapabilmek için ise veriler SPSS 11.0 İstatistiksel Paket Programı'na girilmiştir. İplik yapısal özellikleri ve test koşullarının iplik sürtünmesine etkisini incelemek için %95 güven seviyesinde yapılan varyans analizlerinin yanı sıra ikili karşılaştırma tabloları ile daha ayrıntılı bir istatistiksel değerlendirme yapılması sağlanmıştır. Bunun haricinde farklı giriş gerginlikleri ve farklı sürtünme yüzeyleri için yapılan güven aralığı grafikleri ile test koşullarının iplik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi hem görsel hem de istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Ayrıca 15 cN giriş gerginliği bütün sürtünme yüzeylerinde ortak olduğu için bu giriş gerginliğinde bütün sürtünme yüzeyleri için çıkış gerginliği/giriş gerginliği ($T_2/T_1$) oranları da hesaplanmıştır. Sürtünme katsayısında olduğu gibi bu değerler için de % 95 güven seviyesinde varyans analizleri ve ikili karşılaştırmalar yapılarak güven aralığı grafikleri oluşturulmuştur.

Bunun dışında ölçülen sürtünme katsayısı değerleri arasındaki farklar için 2.2 Metot bölümünde belirtildiği gibi yüzdesel farklar hesaplanarak tablolar halinde verilmiştir.

# BÖLÜM ÜÇ

# ARAŞTIRMA SONUÇLARI

## 3.1 İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçları

Bu bölümde tezin ikinci bölümünde 2.2 Metot başlığı altında verilen yöntemlere göre sürtünme testi yapılan ipliklerin sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları ve (çıkış gerginliği/giriş gerginliği) oranları verilmektedir.

### *3.1.1 İplik-İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçları*

Tablo 3.1 2,5 cN giriş gerginliğinde iplik-iplik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 1 | % 100 Pamuk | Ring | 3,4 | 0,2330 | 0,2389 | 2,37 | 3,05 |
| | | | | 0,2348 | | 2,52 | |
| | | | | 0,2423 | | 3,31 | |
| | | | | 0,2421 | | 3,24 | |
| | | | | 0,2424 | | 3,82 | |
| 2 | % 100 Pamuk | Ring | 3,7 | 0,2361 | 0,2369 | 1,92 | 3,41 |
| | | | | 0,2378 | | 4,21 | |
| | | | | 0,2393 | | 4,77 | |
| | | | | 0,2353 | | 3,78 | |
| | | | | 0,2359 | | 2,38 | |
| 3 | % 100 Pamuk | Ring | 4,0 | 0,2505 | 0,2515 | 2,55 | 3,44 |
| | | | | 0,2517 | | 2,41 | |
| | | | | 0,2476 | | 3,21 | |
| | | | | 0,2540 | | 4,90 | |
| | | | | 0,2537 | | 4,15 | |
| 4 | % 50-50 Pamuk-Tencel | Ring | 3,4 | 0,2298 | 0,2297 | 3,81 | 4,06 |
| | | | | 0,2281 | | 3,88 | |
| | | | | 0,2303 | | 4,53 | |
| | | | | 0,2308 | | 4,18 | |
| | | | | 0,2294 | | 3,89 | |
| 5 | % 50-50 Pamuk-Tencel | Ring | 3,7 | 0,2366 | 0,2382 | 3,18 | 3,41 |
| | | | | 0,2392 | | 3,39 | |
| | | | | 0,2406 | | 3,45 | |
| | | | | 0,2377 | | 3,30 | |
| | | | | 0,2370 | | 3,74 | |
| 6 | % 50-50 Pamuk-Tencel | Ring | 4,0 | 0,2454 | 0,2442 | 6,01 | 4,04 |
| | | | | 0,2509 | | 3,24 | |
| | | | | 0,2426 | | 3,19 | |
| | | | | 0,2395 | | 3,00 | |
| | | | | 0,2425 | | 4,72 | |

Tablo 3.1 2,5 cN giriş gerginliğinde iplik-iplik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları (devamı)

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı(μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 7 | % 100 Tencel | Ring | 3,4 | 0,2129 | 0,2188 | 8,61 | 5,06 |
| | | | | 0,2180 | | 3,66 | |
| | | | | 0,2235 | | 3,51 | |
| | | | | 0,2204 | | 4,19 | |
| | | | | 0,2193 | | 5,31 | |
| 8 | % 100 Tencel | Ring | 3,7 | 0,1988 | 0,1979 | 3,80 | 4,31 |
| | | | | 0,1993 | | 4,17 | |
| | | | | 0,2007 | | 4,31 | |
| | | | | 0,1958 | | 4,76 | |
| | | | | 0,1947 | | 4,50 | |
| 9 | % 100 Tencel | Ring | 4,0 | 0,2374 | 0,2402 | 3,63 | 4,31 |
| | | | | 0,2401 | | 3,44 | |
| | | | | 0,2401 | | 4,86 | |
| | | | | 0,2416 | | 4,72 | |
| | | | | 0,2416 | | 4,89 | |
| 10 | % 100 Pamuk | Kompakt | 3,7 | 0,2387 | 0,2360 | 3,85 | 2,77 |
| | | | | 0,2340 | | 2,28 | |
| | | | | 0,2364 | | 2,59 | |
| | | | | 0,2372 | | 2,36 | |
| | | | | 0,2335 | | 2,77 | |
| 11 | % 50-50 Pamuk-Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,2334 | 0,2352 | 2,02 | 2,23 |
| | | | | 0,2326 | | 2,16 | |
| | | | | 0,2390 | | 2,17 | |
| | | | | 0,2377 | | 2,11 | |
| | | | | 0,2335 | | 2,70 | |
| 12 | % 100 Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,1946 | 0,1977 | 3,21 | 3,56 |
| | | | | 0,1984 | | 3,96 | |
| | | | | 0,2003 | | 3,66 | |
| | | | | 0,1977 | | 3,13 | |
| | | | | 0,1975 | | 3,85 | |
| 13 | % 100 Pamuk | Vortex | 3,7 | 0,2253 | 0,2248 | 2,29 | 2,25 |
| | | | | 0,2277 | | 2,24 | |
| | | | | 0,2222 | | 2,38 | |
| | | | | 0,2220 | | 2,01 | |
| | | | | 0,2266 | | 2,32 | |
| 14 | % 50-50 Pamuk-Tencel | Vortex | 3,7 | 0,2144 | 0,2152 | 2,09 | 2,21 |
| | | | | 0,2148 | | 2,16 | |
| | | | | 0,2178 | | 2,34 | |
| | | | | 0,2161 | | 2,18 | |
| | | | | 0,2127 | | 2,31 | |
| 15 | % 100 Tencel | Vortex | 3,7 | 0,1828 | 0,1881 | 2,45 | 2,15 |
| | | | | 0,1926 | | 2,00 | |
| | | | | 0,1883 | | 1,91 | |
| | | | | 0,1872 | | 2,31 | |
| | | | | 0,1894 | | 2,06 | |

Tablo 3.2 10 cN giriş gerginliğinde iplik-iplik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 1 | % 100 Pamuk | Ring | 3,4 | 0,1805 | 0,1828 | 1,69 | 1,72 |
| | | | | 0,1837 | | 1,69 | |
| | | | | 0,1847 | | 2,05 | |
| | | | | 0,1834 | | 1,65 | |
| | | | | 0,1817 | | 1,52 | |
| 2 | % 100 Pamuk | Ring | 3,7 | 0,1854 | 0,1833 | 1,72 | 1,76 |
| | | | | 0,1835 | | 1,61 | |
| | | | | 0,1814 | | 1,82 | |
| | | | | 0,1825 | | 1,90 | |
| | | | | 0,1839 | | 1,74 | |
| 3 | % 100 Pamuk | Ring | 4,0 | 0,1883 | 0,1879 | 1,91 | 2,38 |
| | | | | 0,1898 | | 4,50 | |
| | | | | 0,1850 | | 1,84 | |
| | | | | 0,1879 | | 1,71 | |
| | | | | 0,1885 | | 1,92 | |
| 4 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,4 | 0,1762 | 0,1761 | 1,91 | 1,93 |
| | | | | 0,1740 | | 2,11 | |
| | | | | 0,1774 | | 1,90 | |
| | | | | 0,1767 | | 2,00 | |
| | | | | 0,1761 | | 1,71 | |
| 5 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,7 | 0,1802 | 0,1814 | 1,93 | 1,98 |
| | | | | 0,1822 | | 1,94 | |
| | | | | 0,1804 | | 2,01 | |
| | | | | 0,1813 | | 1,97 | |
| | | | | 0,1830 | | 2,04 | |
| 6 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 4,0 | 0,1842 | 0,1830 | 1,87 | 2,08 |
| | | | | 0,1816 | | 1,97 | |
| | | | | 0,1838 | | 2,08 | |
| | | | | 0,1822 | | 1,97 | |
| | | | | 0,1834 | | 2,52 | |
| 7 | % 100 Tencel | Ring | 3,4 | 0,1673 | 0,1687 | 2,45 | 2,63 |
| | | | | 0,1709 | | 2,99 | |
| | | | | 0,1690 | | 2,21 | |
| | | | | 0,1690 | | 2,51 | |
| | | | | 0,1674 | | 2,99 | |
| 8 | % 100 Tencel | Ring | 3,7 | 0,1473 | 0,1515 | 2,54 | 2,50 |
| | | | | 0,1533 | | 2,14 | |
| | | | | 0,1524 | | 2,31 | |
| | | | | 0,1480 | | 2,86 | |
| | | | | 0,1565 | | 2,64 | |
| 9 | % 100 Tencel | Ring | 4,0 | 0,1859 | 0,1845 | 3,04 | 2,72 |
| | | | | 0,1841 | | 2,97 | |
| | | | | 0,1849 | | 3,29 | |
| | | | | 0,1837 | | 2,45 | |
| | | | | 0,1841 | | 1,83 | |

Tablo 3.2 10 cN giriş gerginliğinde iplik-iplik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları (devamı)

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 10 | % 100 Pamuk | Kompakt | 3,7 | 0,1839 | 0,1802 | 1,34 | 1,42 |
| | | | | 0,1780 | | 1,60 | |
| | | | | 0,1815 | | 1,46 | |
| | | | | 0,1806 | | 1,24 | |
| | | | | 0,1770 | | 1,43 | |
| 11 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,1785 | 0,1754 | 1,54 | 1,78 |
| | | | | 0,1758 | | 1,87 | |
| | | | | 0,1730 | | 1,68 | |
| | | | | 0,1744 | | 1,61 | |
| | | | | 0,1752 | | 2,18 | |
| 12 | % 100 Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,1518 | 0,1505 | 2,29 | 2,22 |
| | | | | 0,1536 | | 2,26 | |
| | | | | 0,1521 | | 1,91 | |
| | | | | 0,1469 | | 2,62 | |
| | | | | 0,1480 | | 2,00 | |
| 13 | % 100 Pamuk | Vortex | 3,7 | 0,1763 | 0,1766 | 1,81 | 2,05 |
| | | | | 0,1781 | | 1,89 | |
| | | | | 0,1753 | | 2,21 | |
| | | | | 0,1747 | | 2,29 | |
| | | | | 0,1784 | | 2,05 | |
| 14 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Vortex | 3,7 | 0,1713 | 0,1731 | 1,94 | 1,82 |
| | | | | 0,1722 | | 1,71 | |
| | | | | 0,1763 | | 1,78 | |
| | | | | 0,1735 | | 1,76 | |
| | | | | 0,1722 | | 1,88 | |
| 15 | % 100 Tencel | Vortex | 3,7 | 0,1456 | 0,1475 | 1,77 | 1,70 |
| | | | | 0,1484 | | 1,63 | |
| | | | | 0,1483 | | 1,58 | |
| | | | | 0,1473 | | 1,83 | |
| | | | | 0,1479 | | | |

Tablo 3.3 15 cN giriş gerginliğinde iplik-iplik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 1 | % 100 Pamuk | Ring | 3,4 | 0,1599 | 0,1615 | 1,76 | 1,73 |
| | | | | 0,1596 | | 1,79 | |
| | | | | 0,1646 | | 1,89 | |
| | | | | 0,1619 | | 1,54 | |
| | | | | 0,1616 | | 1,65 | |
| 2 | % 100 Pamuk | Ring | 3,7 | 0,1604 | 0,1637 | 2,22 | 1,81 |
| | | | | 0,1648 | | 1,55 | |
| | | | | 0,1675 | | 1,80 | |
| | | | | 0,1643 | | 1,87 | |
| | | | | 0,1615 | | 1,59 | |
| 3 | % 100 Pamuk | Ring | 4,0 | 0,1660 | 0,1664 | 1,99 | 2,07 |
| | | | | 0,1713 | | 2,52 | |
| | | | | 0,1651 | | 2,06 | |
| | | | | 0,1645 | | 1,97 | |
| | | | | 0,1652 | | 1,79 | |
| 4 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,4 | 0,1621 | 0,1603 | 4,63 | 4,55 |
| | | | | 0,1593 | | 4,50 | |
| | | | | 0,1607 | | 4,56 | |
| | | | | 0,1590 | | 4,49 | |
| | | | | 0,1602 | | 4,54 | |
| 5 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,7 | 0,1608 | 0,1618 | 4,57 | 4,61 |
| | | | | 0,1620 | | 4,62 | |
| | | | | 0,1628 | | 4,66 | |
| | | | | 0,1612 | | 4,58 | |
| | | | | 0,1623 | | 4,64 | |
| 6 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 4,0 | 0,1670 | 0,1649 | 1,79 | 1,93 |
| | | | | 0,1661 | | 2,07 | |
| | | | | 0,1660 | | 1,80 | |
| | | | | 0,1611 | | 2,33 | |
| | | | | 0,1641 | | 1,66 | |
| 7 | % 100 Tencel | Ring | 3,4 | 0,1475 | 0,1483 | 4,03 | 4,06 |
| | | | | 0,1495 | | 4,11 | |
| | | | | 0,1480 | | 4,05 | |
| | | | | 0,1488 | | 4,08 | |
| | | | | 0,1477 | | 4,04 | |
| 8 | % 100 Tencel | Ring | 3,7 | 0,1435 | 0,1444 | 2,83 | 3,15 |
| | | | | 0,1461 | | 2,75 | |
| | | | | 0,1443 | | 2,79 | |
| | | | | 0,1403 | | 4,03 | |
| | | | | 0,1476 | | 3,32 | |
| 9 | % 100 Tencel | Ring | 4,0 | 0,1639 | 0,1646 | 2,37 | 3,09 |
| | | | | 0,1656 | | 2,34 | |
| | | | | 0,1649 | | 5,42 | |
| | | | | 0,1651 | | 2,78 | |
| | | | | 0,1633 | | 2,53 | |

Tablo 3.3 15 cN giriş gerginliğinde iplik-iplik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları (devamı)

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 10 | % 100 Pamuk | Kompakt | 3,7 | 0,1618 | 0,1615 | 1,87 | 1,78 |
| | | | | 0,1614 | | 2,21 | |
| | | | | 0,1608 | | 1,50 | |
| | | | | 0,1612 | | 1,78 | |
| | | | | 0,1622 | | 1,55 | |
| 11 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,1622 | 0,1596 | 1,62 | 1,60 |
| | | | | 0,1580 | | 1,38 | |
| | | | | 0,1605 | | 1,77 | |
| | | | | 0,1606 | | 1,40 | |
| | | | | 0,1567 | | 1,85 | |
| 12 | % 100 Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,1391 | 0,1378 | 2,52 | 2,43 |
| | | | | 0,1373 | | 2,35 | |
| | | | | 0,1396 | | 2,43 | |
| | | | | 0,1363 | | 2,28 | |
| | | | | 0,1366 | | 2,58 | |
| 13 | % 100 Pamuk | Vortex | 3,7 | 0,1576 | 0,1584 | 1,66 | 1,65 |
| | | | | 0,1591 | | 1,54 | |
| | | | | 0,1599 | | 1,59 | |
| | | | | 0,1577 | | 2,02 | |
| | | | | 0,1579 | | 1,46 | |
| 14 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Vortex | 3,7 | 0,1529 | 0,1538 | 1,62 | 1,83 |
| | | | | 0,1558 | | 1,86 | |
| | | | | 0,1528 | | 1,93 | |
| | | | | 0,1525 | | 1,68 | |
| | | | | 0,1549 | | 2,06 | |
| 15 | % 100 Tencel | Vortex | 3,7 | 0,1345 | 0,1360 | 1,60 | 1,57 |
| | | | | 0,1372 | | 1,53 | |
| | | | | 0,1369 | | 1,63 | |
| | | | | 0,1353 | | 1,43 | |
| | | | | 0,1361 | | 1,67 | |

### *3.1.2 İplik-Metal Sürtünmesi Ölçüm Sonuçları*

Tablo 3.4 15 cN giriş gerginliğinde iplik-metal sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 1 | % 100 Pamuk | Ring | 3,4 | 0,2187 | 0,2206 | 1,66 | 2,67 |
| | | | | 0,2178 | | 1,73 | |
| | | | | 0,2318 | | 6,86 | |
| | | | | 0,2186 | | 1,75 | |
| | | | | 0,2159 | | 1,33 | |
| 2 | % 100 Pamuk | Ring | 3,7 | 0,2177 | 0,2179 | 0,66 | 1,23 |
| | | | | 0,2196 | | 0,39 | |
| | | | | 0,2171 | | 1,66 | |
| | | | | 0,2178 | | 1,61 | |
| | | | | 0,2174 | | 1,80 | |
| 3 | % 100 Pamuk | Ring | 4,0 | 0,2186 | 0,2177 | 2,01 | 2,14 |
| | | | | 0,2185 | | 2,25 | |
| | | | | 0,2160 | | 2,01 | |
| | | | | 0,2179 | | 2,28 | |
| | | | | 0,2176 | | 2,17 | |
| 4 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,4 | 0,2267 | 0,2267 | 2,00 | 1,85 |
| | | | | 0,2257 | | 1,58 | |
| | | | | 0,2259 | | 1,96 | |
| | | | | 0,2271 | | 1,85 | |
| | | | | 0,2281 | | | |
| 5 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,7 | 0,2261 | 0,2260 | 2,32 | 2,15 |
| | | | | 0,2262 | | 2,28 | |
| | | | | 0,2261 | | 1,75 | |
| | | | | 0,2263 | | 2,29 | |
| | | | | 0,2251 | | 2,10 | |
| 6 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 4,0 | 0,2235 | 0,2284 | 2,78 | 2,32 |
| | | | | 0,2254 | | 1,96 | |
| | | | | 0,2238 | | 2,32 | |
| | | | | 0,2254 | | 2,34 | |
| | | | | 0,2439 | | 2,19 | |
| 7 | % 100 Tencel | Ring | 3,4 | 0,2288 | 0,2288 | 1,96 | 1,78 |
| | | | | 0,2283 | | 1,62 | |
| | | | | 0,2286 | | 1,53 | |
| | | | | 0,2281 | | 1,68 | |
| | | | | 0,2302 | | 2,12 | |
| 8 | % 100 Tencel | Ring | 3,7 | 0,2316 | 0,2336 | 2,05 | 2,39 |
| | | | | 0,2300 | | 2,00 | |
| | | | | 0,2312 | | 2,21 | |
| | | | | 0,2455 | | 3,75 | |
| | | | | 0,2298 | | 1,95 | |
| 9 | % 100 Tencel | Ring | 4,0 | 0,2293 | 0,2290 | 1,63 | 1,51 |
| | | | | 0,2285 | | 1,57 | |
| | | | | 0,2281 | | 1,61 | |
| | | | | 0,2299 | | 1,39 | |
| | | | | 0,2291 | | 1,33 | |

Tablo 3.4 15 cN giriş gerginliğinde iplik-metal sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları (devamı)

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 10 | % 100 Pamuk | Kompakt | 3,7 | 0,2154 | 0,2156 | 1,60 | 1,75 |
| | | | | 0,2155 | | 1,67 | |
| | | | | 0,2153 | | 1,48 | |
| | | | | 0,2173 | | 2,02 | |
| | | | | 0,2145 | | 1,97 | |
| 11 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,2267 | 0,2257 | 2,16 | 1,88 |
| | | | | 0,2263 | | 1,56 | |
| | | | | 0,2242 | | 1,87 | |
| | | | | 0,2267 | | 1,68 | |
| | | | | 0,2248 | | 2,16 | |
| 12 | % 100 Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,2307 | 0,2312 | 1,48 | 1,68 |
| | | | | 0,2290 | | 1,96 | |
| | | | | 0,2334 | | 1,71 | |
| | | | | 0,2320 | | 1,80 | |
| | | | | 0,2307 | | 1,48 | |
| 13 | % 100 Pamuk | Vortex | 3,7 | 0,2246 | 0,2246 | 1,78 | 2,11 |
| | | | | 0,2259 | | 2,22 | |
| | | | | 0,2238 | | 1,97 | |
| | | | | 0,2249 | | 2,12 | |
| | | | | 0,2238 | | 2,47 | |
| 14 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Vortex | 3,7 | 0,2346 | 0,2336 | 2,01 | 2,04 |
| | | | | 0,2355 | | 1,91 | |
| | | | | 0,2333 | | 2,13 | |
| | | | | 0,2327 | | 2,22 | |
| | | | | 0,2318 | | 1,93 | |
| 15 | % 100 Tencel | Vortex | 3,7 | 0,2430 | 0,2406 | 1,88 | 1,80 |
| | | | | 0,2405 | | 1,52 | |
| | | | | 0,2378 | | 1,94 | |
| | | | | 0,2430 | | 1,96 | |
| | | | | 0,2387 | | 1,72 | |

Tablo 3.5 60cN giriş gerginliğinde iplik-metal sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 1 | % 100 Pamuk | Ring | 3,4 | 0,2105 | 0,2086 | 1,09 | 1,09 |
| | | | | 0,2084 | | 1,11 | |
| | | | | 0,2080 | | 1,09 | |
| | | | | 0,2088 | | 1,15 | |
| | | | | 0,2073 | | 0,99 | |
| 2 | % 100 Pamuk | Ring | 3,7 | 0,2111 | 0,2123 | 1,16 | 1,11 |
| | | | | 0,2101 | | 1,21 | |
| | | | | 0,2123 | | 1,27 | |
| | | | | 0,2143 | | 0,88 | |
| | | | | 0,2138 | | 1,02 | |
| 3 | % 100 Pamuk | Ring | 4,0 | 0,2054 | 0,2073 | 1,12 | 1,08 |
| | | | | 0,2063 | | 1,12 | |
| | | | | 0,2075 | | 1,03 | |
| | | | | 0,2088 | | 1,12 | |
| | | | | 0,2083 | | 1,00 | |
| 4 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,4 | 0,2132 | 0,2134 | 1,02 | 1,18 |
| | | | | 0,2130 | | 1,22 | |
| | | | | 0,2122 | | 1,19 | |
| | | | | 0,2144 | | 1,29 | |
| | | | | 0,2140 | | 1,19 | |
| 5 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,7 | 0,2178 | 0,2170 | 1,30 | 1,14 |
| | | | | 0,2170 | | 1,07 | |
| | | | | 0,2176 | | 1,11 | |
| | | | | 0,2160 | | 1,23 | |
| | | | | 0,2167 | | 0,99 | |
| 6 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 4,0 | 0,2168 | 0,2126 | 1,02 | 1,22 |
| | | | | 0,2116 | | 1,33 | |
| | | | | 0,2105 | | 1,08 | |
| | | | | 0,2126 | | 1,43 | |
| | | | | 0,2114 | | 1,26 | |
| 7 | % 100 Tencel | Ring | 3,4 | 0,2136 | 0,2134 | 1,62 | 1,39 |
| | | | | 0,2142 | | 1,26 | |
| | | | | 0,2128 | | 1,32 | |
| | | | | 0,2129 | | 1,22 | |
| | | | | 0,2137 | | 1,54 | |
| 8 | % 100 Tencel | Ring | 3,7 | 0,2167 | 0,2171 | 2,05 | 1,70 |
| | | | | 0,2179 | | 1,59 | |
| | | | | 0,2178 | | 1,72 | |
| | | | | 0,2184 | | 1,57 | |
| | | | | 0,2148 | | 1,56 | |
| 9 | % 100 Tencel | Ring | 4,0 | 0,2122 | 0,2123 | 1,48 | 1,33 |
| | | | | 0,2114 | | 1,15 | |
| | | | | 0,2116 | | 1,35 | |
| | | | | 0,2128 | | 1,44 | |
| | | | | 0,2135 | | 1,24 | |

Tablo 3.5 60 cN giriş gerginliğinde iplik-metal sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları (devamı)

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 10 | % 100 Pamuk | Kompakt | 3,7 | 0,2103 | 0,2086 | 1,09 | 1,30 |
| | | | | 0,2084 | | 1,28 | |
| | | | | 0,2087 | | 1,54 | |
| | | | | 0,2091 | | 1,21 | |
| | | | | 0,2067 | | 1,37 | |
| 11 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,2109 | 0,2123 | 1,34 | 1,29 |
| | | | | 0,2132 | | 1,27 | |
| | | | | 0,2126 | | 1,35 | |
| | | | | 0,2119 | | 1,21 | |
| | | | | 0,2129 | | 1,27 | |
| 12 | % 100 Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,2146 | 0,2162 | 1,61 | 1,40 |
| | | | | 0,2147 | | 1,31 | |
| | | | | 0,2185 | | 1,54 | |
| | | | | 0,2173 | | 1,31 | |
| | | | | 0,2157 | | 1,24 | |
| 13 | % 100 Pamuk | Vortex | 3,7 | 0,2144 | 0,2161 | 1,11 | 1,13 |
| | | | | 0,2152 | | 1,03 | |
| | | | | 0,2173 | | 1,26 | |
| | | | | 0,2185 | | 0,99 | |
| | | | | 0,2150 | | 1,24 | |
| 14 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Vortex | 3,7 | 0,2238 | 0,2203 | 1,31 | 1,54 |
| | | | | 0,2223 | | 1,88 | |
| | | | | 0,2193 | | 1,24 | |
| | | | | 0,2212 | | 1,64 | |
| | | | | 0,2150 | | 1,61 | |
| 15 | % 100 Tencel | Vortex | 3,7 | 0,2207 | 0,2217 | 3,10 | 2,38 |
| | | | | 0,2246 | | 1,61 | |
| | | | | 0,2162 | | 3,16 | |
| | | | | 0,2231 | | 2,08 | |
| | | | | 0,2237 | | 1,94 | |

Tablo 3.6 90 cN giriş gerginliğinde iplik-metal sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 1 | % 100 Pamuk | Ring | 3,4 | 0,2160 | 0,2156 | 0,81 | 0,87 |
| | | | | 0,2148 | | 0,96 | |
| | | | | 0,2150 | | 0,94 | |
| | | | | 0,2162 | | 0,70 | |
| | | | | 0,2161 | | 0,92 | |
| 2 | % 100 Pamuk | Ring | 3,7 | 0,2132 | 0,2124 | 0,83 | 0,88 |
| | | | | 0,2104 | | 0,82 | |
| | | | | 0,2126 | | 0,93 | |
| | | | | 0,2130 | | 0,95 | |
| | | | | 0,2126 | | 0,88 | |
| 3 | % 100 Pamuk | Ring | 4,0 | 0,2141 | 0,2141 | 0,78 | 0,78 |
| | | | | 0,2144 | | 0,92 | |
| | | | | 0,2135 | | 0,75 | |
| | | | | 0,2144 | | 0,70 | |
| | | | | 0,2139 | | 0,75 | |
| 4 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,4 | 0,2157 | 0,2152 | 0,96 | 1,00 |
| | | | | 0,2165 | | 1,07 | |
| | | | | 0,2147 | | 0,92 | |
| | | | | 0,2151 | | 0,95 | |
| | | | | 0,2142 | | 1,10 | |
| 5 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,7 | 0,2151 | 0,2150 | 0,77 | 0,86 |
| | | | | 0,2145 | | 0,80 | |
| | | | | 0,2144 | | 1,00 | |
| | | | | 0,2164 | | 0,87 | |
| | | | | 0,2146 | | 0,87 | |
| 6 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 4,0 | 0,2128 | 0,2123 | 1,06 | 0,98 |
| | | | | 0,2115 | | 0,97 | |
| | | | | 0,2123 | | 0,97 | |
| | | | | 0,2125 | | 0,91 | |
| | | | | 0,2126 | | 1,00 | |
| 7 | % 100 Tencel | Ring | 3,4 | 0,2103 | 0,2095 | 1,25 | 1,39 |
| | | | | 0,2093 | | 1,26 | |
| | | | | 0,2088 | | 1,37 | |
| | | | | 0,2093 | | 1,55 | |
| | | | | 0,2099 | | 1,52 | |
| 8 | % 100 Tencel | Ring | 3,7 | 0,2175 | 0,2158 | 1,58 | 1,70 |
| | | | | 0,2159 | | 1,76 | |
| | | | | 0,2156 | | 2,16 | |
| | | | | 0,2149 | | 1,50 | |
| | | | | 0,2149 | | 1,51 | |
| 9 | % 100 Tencel | Ring | 4,0 | 0,2093 | 0,2088 | 1,51 | 1,41 |
| | | | | 0,2081 | | 1,30 | |
| | | | | 0,2074 | | 1,45 | |
| | | | | 0,2107 | | 1,33 | |
| | | | | 0,2085 | | 1,47 | |

Tablo 3.6 90 cN giriş gerginliğinde iplik-metal sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları (devamı)

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 10 | % 100 Pamuk | Kompakt | 3,7 | 0,2110 | 0,2106 | 0,99 | 0,90 |
| | | | | 0,2110 | | 0,88 | |
| | | | | 0,2112 | | 0,86 | |
| | | | | 0,2093 | | 0,93 | |
| | | | | 0,2106 | | 0,85 | |
| 11 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,2152 | 0,2139 | 0,93 | 0,97 |
| | | | | 0,2131 | | 1,03 | |
| | | | | 0,2142 | | 1,03 | |
| | | | | 0,2137 | | 1,05 | |
| | | | | 0,2131 | | 0,81 | |
| 12 | % 100 Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,2133 | 0,2141 | 1,58 | 1,51 |
| | | | | 0,2134 | | 1,62 | |
| | | | | 0,2143 | | 1,45 | |
| | | | | 0,2149 | | 1,38 | |
| | | | | 0,2147 | | 1,51 | |
| 13 | % 100 Pamuk | Vortex | 3,7 | 0,2101 | 0,2156 | 0,90 | 1,08 |
| | | | | 0,2158 | | 1,02 | |
| | | | | 0,2150 | | 0,98 | |
| | | | | 0,2179 | | 1,29 | |
| | | | | 0,2192 | | 1,23 | |
| 14 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Vortex | 3,7 | 0,2284 | 0,2263 | 1,37 | 1,23 |
| | | | | 0,2265 | | 1,28 | |
| | | | | 0,2227 | | 1,14 | |
| | | | | 0,2268 | | 1,19 | |
| | | | | 0,2270 | | 1,16 | |
| 15 | % 100 Tencel | Vortex | 3,7 | 0,2281 | 0,2269 | 0,98 | 1,13 |
| | | | | 0,2271 | | 1,14 | |
| | | | | 0,2278 | | 1,09 | |
| | | | | 0,2261 | | 1,22 | |
| | | | | 0,2252 | | 1,20 | |

### *3.1.3 İplik-Seramik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçları*

Tablo 3.7 15 cN giriş gerginliğinde iplik-seramik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 1 | % 100 Pamuk | Ring | 3,4 | 0,2459 | 0,2478 | 1,09 | 1,17 |
| | | | | 0,2486 | | 1,13 | |
| | | | | 0,2481 | | 1,09 | |
| | | | | 0,2492 | | 1,31 | |
| | | | | 0,2474 | | 1,22 | |
| 2 | % 100 Pamuk | Ring | 3,7 | 0,2475 | 0,2474 | 1,15 | 1,24 |
| | | | | 0,2477 | | 1,21 | |
| | | | | 0,2470 | | 1,43 | |
| | | | | 0,2473 | | 1,08 | |
| | | | | 0,2473 | | 1,32 | |
| 3 | % 100 Pamuk | Ring | 4,0 | 0,2483 | 0,2482 | 1,03 | 1,13 |
| | | | | 0,2488 | | 1,23 | |
| | | | | 0,2473 | | 0,97 | |
| | | | | 0,2491 | | 1,15 | |
| | | | | 0,2474 | | 1,29 | |
| 4 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,4 | 0,2479 | 0,2471 | 1,05 | 1,20 |
| | | | | 0,2488 | | 1,44 | |
| | | | | 0,2461 | | 1,13 | |
| | | | | 0,2458 | | 1,14 | |
| | | | | 0,2469 | | 1,23 | |
| 5 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,7 | 0,2480 | 0,2472 | 1,56 | 1,36 |
| | | | | 0,2472 | | 1,24 | |
| | | | | 0,2478 | | 1,24 | |
| | | | | 0,2473 | | 1,33 | |
| | | | | 0,2459 | | 1,40 | |
| 6 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 4,0 | 0,2461 | 0,2456 | 1,06 | 1,11 |
| | | | | 0,2466 | | 1,17 | |
| | | | | 0,2457 | | 1,18 | |
| | | | | 0,2455 | | 1,04 | |
| | | | | 0,2439 | | 1,10 | |
| 7 | % 100 Tencel | Ring | 3,4 | 0,2575 | 0,2575 | 1,07 | 1,28 |
| | | | | 0,2586 | | 1,30 | |
| | | | | 0,2576 | | 1,36 | |
| | | | | 0,2562 | | 1,38 | |
| | | | | 0,2574 | | 1,27 | |
| 8 | % 100 Tencel | Ring | 3,7 | 0,2578 | 0,2553 | 1,63 | 1,46 |
| | | | | 0,2558 | | 1,26 | |
| | | | | 0,2551 | | 1,61 | |
| | | | | 0,2559 | | 1,65 | |
| | | | | 0,2521 | | 1,17 | |
| 9 | % 100 Tencel | Ring | 4,0 | 0,2646 | 0,2647 | 1,51 | 1,43 |
| | | | | 0,2652 | | 1,25 | |
| | | | | 0,2644 | | 1,46 | |
| | | | | 0,2648 | | 1,41 | |
| | | | | 0,2647 | | 1,53 | |

Tablo 3.7 15 cN giriş gerginliğinde iplik-seramik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları (devamı)

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 10 | % 100 Pamuk | Kompakt | 3,7 | 0,2470 | 0,2470 | 1,22 | 1,18 |
| | | | | 0,2471 | | 1,26 | |
| | | | | 0,2478 | | 1,21 | |
| | | | | 0,2486 | | 1,11 | |
| | | | | 0,2444 | | 1,12 | |
| 11 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,2480 | 0,2467 | 1,24 | 1,19 |
| | | | | 0,2474 | | 1,22 | |
| | | | | 0,2462 | | 1,17 | |
| | | | | 0,2456 | | 0,98 | |
| | | | | 0,2465 | | 1,35 | |
| 12 | % 100 Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,2514 | 0,2509 | 1,30 | 1,32 |
| | | | | 0,2512 | | 1,25 | |
| | | | | 0,2511 | | 1,26 | |
| | | | | 0,2509 | | 1,30 | |
| | | | | 0,2498 | | 1,49 | |
| 13 | % 100 Pamuk | Vortex | 3,7 | 0,2545 | 0,2517 | 1,26 | 1,33 |
| | | | | 0,2520 | | 1,27 | |
| | | | | 0,2509 | | 1,46 | |
| | | | | 0,2485 | | 1,24 | |
| | | | | 0,2525 | | 1,43 | |
| 14 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Vortex | 3,7 | 0,2542 | 0,2528 | 1,50 | 1,37 |
| | | | | 0,2527 | | 1,53 | |
| | | | | 0,2505 | | 1,49 | |
| | | | | 0,2535 | | 1,29 | |
| | | | | 0,2530 | | 1,03 | |
| 15 | % 100 Tencel | Vortex | 3,7 | 0,2577 | 0,2574 | 0,99 | 0,99 |
| | | | | 0,2588 | | 0,84 | |
| | | | | 0,2560 | | 1,12 | |
| | | | | 0,2576 | | 1,04 | |
| | | | | 0,2570 | | 1,01 | |

Tablo 3.8 60 cN giriş gerginliğinde iplik-seramik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 1 | % 100 Pamuk | Ring | 3,4 | 0,2498 | 0,2508 | 0,72 | 0,87 |
| | | | | 0,2509 | | 0,78 | |
| | | | | 0,2501 | | 0,82 | |
| | | | | 0,2526 | | 1,14 | |
| | | | | 0,2508 | | 0,89 | |
| 2 | % 100 Pamuk | Ring | 3,7 | 0,2520 | 0,2505 | 0,76 | 0,97 |
| | | | | 0,2521 | | 0,91 | |
| | | | | 0,2493 | | 0,97 | |
| | | | | 0,2512 | | 1,08 | |
| | | | | 0,2478 | | 1,13 | |
| 3 | % 100 Pamuk | Ring | 4,0 | 0,2473 | 0,2478 | 0,83 | 0,82 |
| | | | | 0,2482 | | 0,77 | |
| | | | | 0,2478 | | 0,84 | |
| | | | | 0,2481 | | 0,87 | |
| | | | | 0,2475 | | 0,77 | |
| 4 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,4 | 0,2458 | 0,2456 | 0,83 | 0,82 |
| | | | | 0,2460 | | 0,86 | |
| | | | | 0,2452 | | 0,72 | |
| | | | | 0,2454 | | 0,85 | |
| | | | | 0,2456 | | 0,85 | |
| 5 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,7 | 0,2509 | 0,2503 | 0,77 | 0,88 |
| | | | | 0,2500 | | 0,99 | |
| | | | | 0,2505 | | 0,88 | |
| | | | | 0,2488 | | 0,92 | |
| | | | | 0,2512 | | 0,82 | |
| 6 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 4,0 | 0,2437 | 0,2442 | 0,83 | 0,91 |
| | | | | 0,2446 | | 0,98 | |
| | | | | 0,2439 | | 0,93 | |
| | | | | 0,2449 | | 0,96 | |
| | | | | 0,2438 | | 0,85 | |
| 7 | % 100 Tencel | Ring | 3,4 | 0,2674 | 0,2651 | 3,44 | 2,65 |
| | | | | 0,2678 | | 2,85 | |
| | | | | 0,2643 | | 2,75 | |
| | | | | 0,2629 | | 1,94 | |
| | | | | 0,2629 | | 2,28 | |
| 8 | % 100 Tencel | Ring | 3,7 | 0,2611 | 0,2586 | 1,72 | 1,85 |
| | | | | 0,2571 | | 1,75 | |
| | | | | 0,2598 | | 2,18 | |
| | | | | 0,2589 | | 2,34 | |
| | | | | 0,2561 | | 1,28 | |
| 9 | % 100 Tencel | Ring | 4,0 | 0,2715 | 0,2756 | 3,57 | 3,93 |
| | | | | 0,2827 | | 3,19 | |
| | | | | 0,2767 | | 3,11 | |
| | | | | 0,2744 | | 4,32 | |
| | | | | 0,2728 | | 5,47 | |

Tablo 3.8 60 cN giriş gerginliğinde iplik-seramik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları (devamı)

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 10 | % 100 Pamuk | Kompakt | 3,7 | 0,2467 | 0,2475 | 0,72 | 0,89 |
| | | | | 0,2487 | | 0,89 | |
| | | | | 0,2473 | | 0,94 | |
| | | | | 0,2492 | | 1,11 | |
| | | | | 0,2457 | | 0,80 | |
| 11 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,2454 | 0,2449 | 0,73 | 0,71 |
| | | | | 0,2436 | | 0,75 | |
| | | | | 0,2457 | | 0,80 | |
| | | | | 0,2458 | | 0,56 | |
| | | | | 0,2439 | | 0,69 | |
| 12 | % 100 Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,2557 | 0,2585 | 1,55 | 1,33 |
| | | | | 0,2596 | | 1,50 | |
| | | | | 0,2619 | | 1,39 | |
| | | | | 0,2585 | | 1,00 | |
| | | | | 0,2570 | | 1,23 | |
| 13 | % 100 Pamuk | Vortex | 3,7 | 0,2504 | 0,2508 | 0,69 | 0,88 |
| | | | | 0,2511 | | 0,76 | |
| | | | | 0,2495 | | 0,76 | |
| | | | | 0,2524 | | 1,28 | |
| | | | | 0,2508 | | 0,89 | |
| 14 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Vortex | 3,7 | 0,2571 | 0,2571 | 1,07 | 0,97 |
| | | | | 0,2576 | | 1,01 | |
| | | | | 0,2578 | | 0,94 | |
| | | | | 0,2568 | | 0,94 | |
| | | | | 0,2563 | | 0,89 | |
| 15 | % 100 Tencel | Vortex | 3,7 | 0,2614 | 0,2616 | 1,04 | 1,43 |
| | | | | 0,2645 | | 2,09 | |
| | | | | 0,2589 | | 1,31 | |
| | | | | 0,2604 | | 1,56 | |
| | | | | 0,2629 | | 1,17 | |

Tablo 3.9 90 cN giriş gerginliğinde iplik-seramik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 1 | % 100 Pamuk | Ring | 3,4 | 0,2386 | 0,2381 | 0,82 | 0,67 |
| | | | | 0,2372 | | 0,54 | |
| | | | | 0,2384 | | 0,68 | |
| | | | | 0,2389 | | 0,54 | |
| | | | | 0,2375 | | 0,76 | |
| 2 | % 100 Pamuk | Ring | 3,7 | 0,2381 | 0,2372 | 0,59 | 0,55 |
| | | | | 0,2364 | | 0,46 | |
| | | | | 0,2370 | | 0,70 | |
| | | | | 0,2378 | | 0,47 | |
| | | | | 0,2368 | | 0,54 | |
| 3 | % 100 Pamuk | Ring | 4,0 | 0,2346 | 0,2352 | 0,65 | 1,03 |
| | | | | 0,2351 | | 0,66 | |
| | | | | 0,2343 | | 0,73 | |
| | | | | 0,2353 | | 0,69 | |
| | | | | 0,2365 | | 2,41 | |
| 4 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,4 | 0,2387 | 0,2375 | 0,68 | 0,71 |
| | | | | 0,2385 | | 0,69 | |
| | | | | 0,2383 | | 0,73 | |
| | | | | 0,2367 | | 0,75 | |
| | | | | 0,2355 | | 0,71 | |
| 5 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,7 | 0,2339 | 0,2355 | 0,67 | 0,73 |
| | | | | 0,2360 | | 0,79 | |
| | | | | 0,2361 | | 0,78 | |
| | | | | 0,2356 | | 0,73 | |
| | | | | 0,2358 | | 0,70 | |
| 6 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 4,0 | 0,2344 | 0,2338 | 0,79 | 0,76 |
| | | | | 0,2336 | | 0,75 | |
| | | | | 0,2329 | | 0,84 | |
| | | | | 0,2341 | | 0,78 | |
| | | | | 0,2341 | | 0,63 | |
| 7 | % 100 Tencel | Ring | 3,4 | 0,2441 | 0,2449 | 1,85 | 1,64 |
| | | | | 0,2447 | | 1,61 | |
| | | | | 0,2460 | | 1,64 | |
| | | | | 0,2452 | | 1,76 | |
| | | | | 0,2443 | | 1,36 | |
| 8 | % 100 Tencel | Ring | 3,7 | 0,2434 | 0,2468 | 1,93 | 1,67 |
| | | | | 0,2462 | | 1,45 | |
| | | | | 0,2493 | | 1,99 | |
| | | | | 0,2463 | | 1,64 | |
| | | | | 0,2489 | | 1,35 | |
| 9 | % 100 Tencel | Ring | 4,0 | 0,2597 | 0,2567 | 5,44 | 4,62 |
| | | | | 0,2526 | | 3,31 | |
| | | | | 0,2578 | | 4,09 | |
| | | | | 0,2541 | | 4,80 | |
| | | | | 0,2593 | | 5,45 | |

Tablo 3.9 90 cN giriş gerginliğinde iplik-seramik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları (devamı)

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Sürtünme Katsayısı (μ) | | % CV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kops ort. | Ortalama | Kops ort. | Ortalama |
| 10 | % 100 Pamuk | Kompakt | 3,7 | 0,2350 | 0,2358 | 0,87 | 0,78 |
| | | | | 0,2346 | | 0,80 | |
| | | | | 0,2350 | | 1,04 | |
| | | | | 0,2377 | | 0,58 | |
| | | | | 0,2368 | | 0,63 | |
| 11 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,2381 | 0,2373 | 0,73 | 0,62 |
| | | | | 0,2373 | | 0,54 | |
| | | | | 0,2364 | | 0,55 | |
| | | | | 0,2372 | | 0,65 | |
| | | | | 0,2375 | | 0,61 | |
| 12 | % 100 Tencel | Kompakt | 3,7 | 0,2441 | 0,2449 | 1,85 | 1,64 |
| | | | | 0,2447 | | 1,61 | |
| | | | | 0,2460 | | 1,64 | |
| | | | | 0,2452 | | 1,76 | |
| | | | | 0,2443 | | 1,36 | |
| 13* | % 100 Pamuk | Vortex | 3,7 | *90 cN giriş gerginliğinde %100 pamuk vortex ipliklerinde meydana gelen kopuşlar nedeniyle iplik-seramik sürtünme testi gerçekleştirilememiştir. | | | |
| 14 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Vortex | 3,7 | 0,2471 | 0,2444 | 0,76 | 0,83 |
| | | | | 0,2502 | | 0,73 | |
| | | | | 0,2412 | | 0,93 | |
| | | | | 0,2423 | | 0,86 | |
| | | | | 0,2410 | | 0,89 | |
| 15 | % 100 Tencel | Vortex | 3,7 | 0,2695 | 0,2744 | 0,87 | 1,39 |
| | | | | 0,2760 | | 1,86 | |
| | | | | 0,2749 | | 1,42 | |
| | | | | 0,2765 | | 1,68 | |
| | | | | 0,2751 | | 1,11 | |

## 3.2 (Çıkış Gerginliği/Giriş Gerginliği) Oranı Ölçüm Sonuçları

### *3.2.1 İplik-İplik Sürtünmesi (Çıkış Gerginliği/Giriş Gerginliği) Ölçüm Sonuçları*

Tablo 3.10 İplik-iplik sürtünmesi (çıkış gerginliği/giriş gerginliği) oranı

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Çıkış Gerginliği/ Giriş Gerginliği ($T_2/T_1$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 2,5 cN | Ort. | 10 cN | Ort. | 15 cN | Ort. |
| 1 | % 100 Pamuk | Ring | 3,4 | 9,04 | 9,56 | 5,50 | 5,62 | 4,53 | 4,60 |
| | | | | 9,19 | | 5,67 | | 4,52 | |
| | | | | 9,87 | | 5,73 | | 4,73 | |
| | | | | 9,85 | | 5,66 | | 4,62 | |
| | | | | 9,87 | | 5,57 | | 4,60 | |
| 2 | % 100 Pamuk | Ring | 3,7 | 9,30 | 9,37 | 5,76 | 5,65 | 4,55 | 4,70 |
| | | | | 9,45 | | 5,66 | | 4,74 | |
| | | | | 9,59 | | 5,55 | | 4,87 | |
| | | | | 9,23 | | 5,61 | | 4,72 | |
| | | | | 9,29 | | 5,68 | | 4,60 | |
| 3 | % 100 Pamuk | Ring | 4,0 | 10,66 | 10,76 | 5,92 | 5,90 | 4,80 | 4,82 |
| | | | | 10,78 | | 6,01 | | 5,04 | |
| | | | | 10,37 | | 5,74 | | 4,76 | |
| | | | | 11,02 | | 5,90 | | 4,73 | |
| | | | | 10,99 | | 5,93 | | 4,76 | |
| 4 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,4 | 8,77 | 8,76 | 5,28 | 5,28 | 4,62 | 4,54 |
| | | | | 8,63 | | 5,17 | | 4,50 | |
| | | | | 8,81 | | 5,34 | | 4,56 | |
| | | | | 8,85 | | 5,31 | | 4,49 | |
| | | | | 8,73 | | 5,28 | | 4,54 | |
| 5 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,7 | 9,35 | 9,49 | 5,49 | 5,55 | 4,57 | 4,61 |
| | | | | 9,58 | | 5,59 | | 4,62 | |
| | | | | 9,71 | | 5,50 | | 4,66 | |
| | | | | 9,45 | | 5,54 | | 4,59 | |
| | | | | 9,38 | | 5,63 | | 4,63 | |
| 6 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 4,0 | 10,16 | 10,05 | 5,70 | 5,64 | 4,84 | 4,75 |
| | | | | 10,70 | | 5,56 | | 4,80 | |
| | | | | 9,89 | | 5,68 | | 4,80 | |
| | | | | 9,61 | | 5,59 | | 4,58 | |
| | | | | 9,88 | | 5,66 | | 4,71 | |
| 7 | % 100 Tencel | Ring | 3,4 | 7,47 | 7,91 | 4,86 | 4,92 | 4,03 | 4,06 |
| | | | | 7,84 | | 5,03 | | 4,11 | |
| | | | | 8,26 | | 4,94 | | 4,05 | |
| | | | | 8,02 | | 4,94 | | 4,08 | |
| | | | | 7,94 | | 4,86 | | 4,04 | |
| 8 | % 100 Tencel | Ring | 3,7 | 6,54 | 6,48 | 4,02 | 4,19 | 3,88 | 3,91 |
| | | | | 6,57 | | 4,26 | | 3,98 | |
| | | | | 6,66 | | 4,22 | | 3,91 | |
| | | | | 6,36 | | 4,05 | | 3,76 | |
| | | | | 6,29 | | 4,39 | | 4,03 | |
| 9 | % 100 Tencel | Ring | 4,0 | 9,42 | 9,67 | 5,79 | 5,72 | 4,70 | 4,73 |
| | | | | 9,66 | | 5,69 | | 4,78 | |
| | | | | 9,66 | | 5,74 | | 4,75 | |
| | | | | 9,80 | | 5,67 | | 4,76 | |
| | | | | 9,80 | | 5,69 | | 4,68 | |

Tablo 3.10 İplik-iplik sürtünmesi (çıkış gerginliği/giriş gerginliği) oranı (devamı)

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Çıkış Gerginliği/ Giriş Gerginliği ($T_2/T_1$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 2,5 cN | Ort. | 10 cN | Ort. | 15 cN | Ort. |
| 10 | % 100 Pamuk | Kompakt | 3,7 | 9,54 | 9,29 | 5,68 | 5,49 | 4,61 | 4,60 |
| | | | | 9,12 | | 5,37 | | 4,59 | |
| | | | | 9,33 | | 5,55 | | 4,57 | |
| | | | | 9,40 | | 5,51 | | 4,59 | |
| | | | | 9,08 | | 5,32 | | 4,63 | |
| 11 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Kompakt | 3,7 | 9,07 | 9,23 | 5,40 | 5,24 | 4,63 | 4,52 |
| | | | | 9,00 | | 5,26 | | 4,45 | |
| | | | | 9,56 | | 5,13 | | 4,56 | |
| | | | | 9,45 | | 5,19 | | 4,56 | |
| | | | | 9,08 | | 5,23 | | 4,39 | |
| 12 | % 100 Tencel | Kompakt | 3,7 | 6,29 | 6,47 | 4,20 | 4,14 | 3,72 | 3,68 |
| | | | | 6,52 | | 4,27 | | 3,66 | |
| | | | | 6,63 | | 4,21 | | 3,74 | |
| | | | | 6,47 | | 4,01 | | 3,62 | |
| | | | | 6,46 | | 4,05 | | 3,63 | |
| 13 | % 100 Pamuk | Vortex | 3,7 | 8,40 | 8,36 | 5,29 | 5,30 | 4,43 | 4,47 |
| | | | | 8,59 | | 5,38 | | 4,50 | |
| | | | | 8,16 | | 5,24 | | 4,53 | |
| | | | | 8,14 | | 5,21 | | 4,44 | |
| | | | | 8,51 | | 5,39 | | 4,44 | |
| 14 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Vortex | 3,7 | 7,58 | 7,63 | 5,04 | 5,13 | 4,24 | 4,28 |
| | | | | 7,61 | | 5,09 | | 4,36 | |
| | | | | 7,83 | | 5,29 | | 4,24 | |
| | | | | 7,70 | | 5,15 | | 4,22 | |
| | | | | 7,46 | | 5,09 | | 4,32 | |
| 15 | % 100 Tencel | Vortex | 3,7 | 5,62 | 5,91 | 3,96 | 4,03 | 3,56 | 3,61 |
| | | | | 6,17 | | 4,06 | | 3,66 | |
| | | | | 5,92 | | 4,06 | | 3,64 | |
| | | | | 5,86 | | 4,02 | | 3,59 | |
| | | | | 5,98 | | 4,04 | | 3,62 | |

### *3.2.2 İplik-Metal (Çıkış Gerginliği/Giriş Gerginliği) Oranı Ölçüm Sonuçları*

Tablo 3.11 İplik-metal sürtünmesi (çıkış gerginliği/giriş gerginliği) oranı

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Çıkış Gerginliği/ Giriş Gerginliği ($T_2/T_1$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 15 cN | ORT. | 60 cN | ORT. | 90 cN | ORT. |
| 1 | % 100 Pamuk | Ring | 3,4 | 1,99 | 2,00 | 1,94 | 1,93 | 1,97 | 1,97 |
| | | | | 1,98 | | 1,92 | | 1,96 | |
| | | | | 2,07 | | 1,93 | | 1,96 | |
| | | | | 1,99 | | 1,93 | | 1,97 | |
| | | | | 1,97 | | 1,91 | | 1,97 | |
| 2 | % 100 Pamuk | Ring | 3,7 | 1,98 | 1,98 | 1,94 | 1,95 | 1,95 | 1,95 |
| | | | | 1,99 | | 1,93 | | 1,94 | |
| | | | | 1,98 | | 1,95 | | 1,95 | |
| | | | | 1,98 | | 1,96 | | 1,95 | |
| | | | | 1,98 | | 1,96 | | 1,95 | |
| 3 | % 100 Pamuk | Ring | 4,0 | 1,99 | 1,98 | 1,91 | 1,92 | 1,96 | 1,96 |
| | | | | 1,99 | | 1,91 | | 1,96 | |
| | | | | 1,97 | | 1,92 | | 1,96 | |
| | | | | 1,98 | | 1,93 | | 1,96 | |
| | | | | 1,98 | | 1,92 | | 1,96 | |
| 4 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,4 | 2,04 | 2,04 | 1,95 | 1,95 | 1,97 | 1,97 |
| | | | | 2,03 | | 1,95 | | 1,97 | |
| | | | | 2,03 | | 1,95 | | 1,96 | |
| | | | | 2,04 | | 1,96 | | 1,97 | |
| | | | | 2,05 | | 1,96 | | 1,96 | |
| 5 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,7 | 2,03 | 2,03 | 1,98 | 1,98 | 1,97 | 1,96 |
| | | | | 2,04 | | 1,98 | | 1,96 | |
| | | | | 2,03 | | 1,98 | | 1,96 | |
| | | | | 2,04 | | 1,97 | | 1,97 | |
| | | | | 2,03 | | 1,98 | | 1,96 | |
| 6 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 4,0 | 2,02 | 2,05 | 1,98 | 1,95 | 1,95 | 1,95 |
| | | | | 2,03 | | 1,94 | | 1,94 | |
| | | | | 2,02 | | 1,94 | | 1,95 | |
| | | | | 2,03 | | 1,95 | | 1,95 | |
| | | | | 2,15 | | 1,94 | | 1,95 | |
| 7 | % 100 Tencel | Ring | 3,4 | 2,05 | 2,05 | 1,96 | 1,96 | 1,94 | 1,93 |
| | | | | 2,05 | | 1,96 | | 1,93 | |
| | | | | 2,05 | | 1,95 | | 1,93 | |
| | | | | 2,05 | | 1,95 | | 1,93 | |
| | | | | 2,06 | | 1,96 | | 1,93 | |
| 8 | % 100 Tencel | Ring | 3,7 | 2,07 | 2,08 | 1,98 | 1,98 | 1,98 | 1,97 |
| | | | | 2,06 | | 1,98 | | 1,97 | |
| | | | | 2,07 | | 1,98 | | 1,97 | |
| | | | | 2,16 | | 1,99 | | 1,96 | |
| | | | | 2,06 | | 1,96 | | 1,96 | |
| 9 | % 100 Tencel | Ring | 4,0 | 2,06 | 2,05 | 1,95 | 1,95 | 1,93 | 1,93 |
| | | | | 2,05 | | 1,94 | | 1,92 | |
| | | | | 2,05 | | 1,94 | | 1,92 | |
| | | | | 2,06 | | 1,95 | | 1,94 | |
| | | | | 2,05 | | 1,96 | | 1,93 | |

Tablo 3.11 İplik-metal sürtünmesi (çıkış gerginliği/giriş gerginliği) oranı (devamı)

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Çıkış Gerginliği/ Giriş Gerginliği ($T_2/T_1$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 15 cN | Ort. | 60 cN | Ort. | 90 cN | Ort. |
| 10 | % 100 Pamuk | Kompakt | 3,7 | 1,97 | 1,97 | 1,94 | 1,93 | 1,94 | 1,94 |
| | | | | 1,97 | | 1,92 | | 1,94 | |
| | | | | 1,97 | | 1,93 | | 1,94 | |
| | | | | 1,98 | | 1,93 | | 1,93 | |
| | | | | 1,96 | | 1,91 | | 1,94 | |
| 11 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Kompakt | 3,7 | 2,04 | 2,03 | 1,94 | 1,95 | 1,97 | 1,96 |
| | | | | 2,04 | | 1,95 | | 1,95 | |
| | | | | 2,02 | | 1,95 | | 1,96 | |
| | | | | 2,04 | | 1,95 | | 1,96 | |
| | | | | 2,03 | | 1,95 | | 1,95 | |
| 12 | % 100 Tencel | Kompakt | 3,7 | 2,06 | 2,07 | 1,96 | 1,97 | 1,95 | 1,96 |
| | | | | 2,05 | | 1,96 | | 1,96 | |
| | | | | 2,08 | | 1,99 | | 1,96 | |
| | | | | 2,07 | | 1,98 | | 1,96 | |
| | | | | 2,06 | | 1,97 | | 1,96 | |
| 13 | % 100 Pamuk | Vortex | 3,7 | 2,03 | 2,03 | 1,96 | 1,97 | 1,93 | 1,97 |
| | | | | 2,03 | | 1,97 | | 1,97 | |
| | | | | 2,02 | | 1,98 | | 1,96 | |
| | | | | 2,03 | | 1,99 | | 1,98 | |
| | | | | 2,02 | | 1,96 | | 1,99 | |
| 14 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Vortex | 3,7 | 2,09 | 2,08 | 2,02 | 2,00 | 2,05 | 2,04 |
| | | | | 2,10 | | 2,01 | | 2,04 | |
| | | | | 2,08 | | 1,99 | | 2,01 | |
| | | | | 2,08 | | 2,00 | | 2,04 | |
| | | | | 2,07 | | 1,96 | | 2,04 | |
| 15 | % 100 Tencel | Vortex | 3,7 | 2,15 | 2,13 | 2,00 | 2,01 | 2,05 | 2,04 |
| | | | | 2,13 | | 2,03 | | 2,04 | |
| | | | | 2,11 | | 1,97 | | 2,05 | |
| | | | | 2,15 | | 2,02 | | 2,03 | |
| | | | | 2,12 | | 2,02 | | 2,03 | |

### *3.2.3 İplik-Seramik (Çıkış Gerginliği/Giriş Gerginliği) Ölçüm Sonuçları*

Tablo 3.12 İplik-seramik sürtünmesi (çıkış gerginliği/giriş gerginliği) oranı

| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Çıkış Gerginliği/ Giriş Gerginliği ($T_2/T_1$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 15 cN | Ort. | 60 cN | Ort. | 90 cN | Ort. |
| 1 | % 100 Pamuk | Ring | 3,4 | 2,17 | 2,18 | 2,19 | 2,20 | 2,12 | 2,11 |
| | | | | 2,18 | | 2,20 | | 2,11 | |
| | | | | 2,18 | | 2,19 | | 2,11 | |
| | | | | 2,19 | | 2,21 | | 2,12 | |
| | | | | 2,18 | | 2,20 | | 2,11 | |
| 2 | % 100 Pamuk | Ring | 3,7 | 2,18 | 2,18 | 2,21 | 2,20 | 2,11 | 2,11 |
| | | | | 2,18 | | 2,21 | | 2,10 | |
| | | | | 2,17 | | 2,19 | | 2,11 | |
| | | | | 2,17 | | 2,20 | | 2,11 | |
| | | | | 2,17 | | 2,18 | | 2,10 | |
| 3 | % 100 Pamuk | Ring | 4,0 | 2,18 | 2,18 | 2,17 | 2,18 | 2,09 | 2,09 |
| | | | | 2,19 | | 2,18 | | 2,09 | |
| | | | | 2,17 | | 2,18 | | 2,09 | |
| | | | | 2,19 | | 2,18 | | 2,09 | |
| | | | | 2,18 | | 2,18 | | 2,10 | |
| 4 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,4 | 2,18 | 2,17 | 2,16 | 2,16 | 2,12 | 2,11 |
| | | | | 2,19 | | 2,17 | | 2,12 | |
| | | | | 2,17 | | 2,16 | | 2,11 | |
| | | | | 2,16 | | 2,16 | | 2,10 | |
| | | | | 2,17 | | 2,16 | | 2,10 | |
| 5 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 3,7 | 2,18 | 2,17 | 2,20 | 2,20 | 2,09 | 2,10 |
| | | | | 2,17 | | 2,19 | | 2,10 | |
| | | | | 2,18 | | 2,20 | | 2,10 | |
| | | | | 2,17 | | 2,19 | | 2,10 | |
| | | | | 2,17 | | 2,20 | | 2,10 | |
| 6 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Ring | 4,0 | 2,17 | 2,16 | 2,15 | 2,15 | 2,09 | 2,08 |
| | | | | 2,17 | | 2,16 | | 2,08 | |
| | | | | 2,16 | | 2,15 | | 2,08 | |
| | | | | 2,16 | | 2,16 | | 2,09 | |
| | | | | 2,15 | | 2,15 | | 2,09 | |
| 7 | % 100 Tencel | Ring | 3,4 | 2,25 | 2,25 | 2,32 | 2,30 | 2,15 | 2,16 |
| | | | | 2,25 | | 2,32 | | 2,16 | |
| | | | | 2,25 | | 2,29 | | 2,17 | |
| | | | | 2,24 | | 2,28 | | 2,16 | |
| | | | | 2,24 | | 2,28 | | 2,15 | |
| 8 | % 100 Tencel | Ring | 3,7 | 2,25 | 2,23 | 2,27 | 2,25 | 2,15 | 2,17 |
| | | | | 2,23 | | 2,24 | | 2,17 | |
| | | | | 2,23 | | 2,26 | | 2,19 | |
| | | | | 2,23 | | 2,26 | | 2,17 | |
| | | | | 2,21 | | 2,24 | | 2,19 | |
| 9 | % 100 Tencel | Ring | 4,0 | 2,30 | 2,30 | 2,35 | 2,38 | 2,26 | 2,24 |
| | | | | 2,30 | | 2,43 | | 2,21 | |
| | | | | 2,29 | | 2,39 | | 2,25 | |
| | | | | 2,30 | | 2,37 | | 2,22 | |
| | | | | 2,30 | | 2,36 | | 2,26 | |

Tablo 3.12 İplik-seramik sürtünmesi (çıkış gerginliği/giriş gerginliği) oranı (devamı)

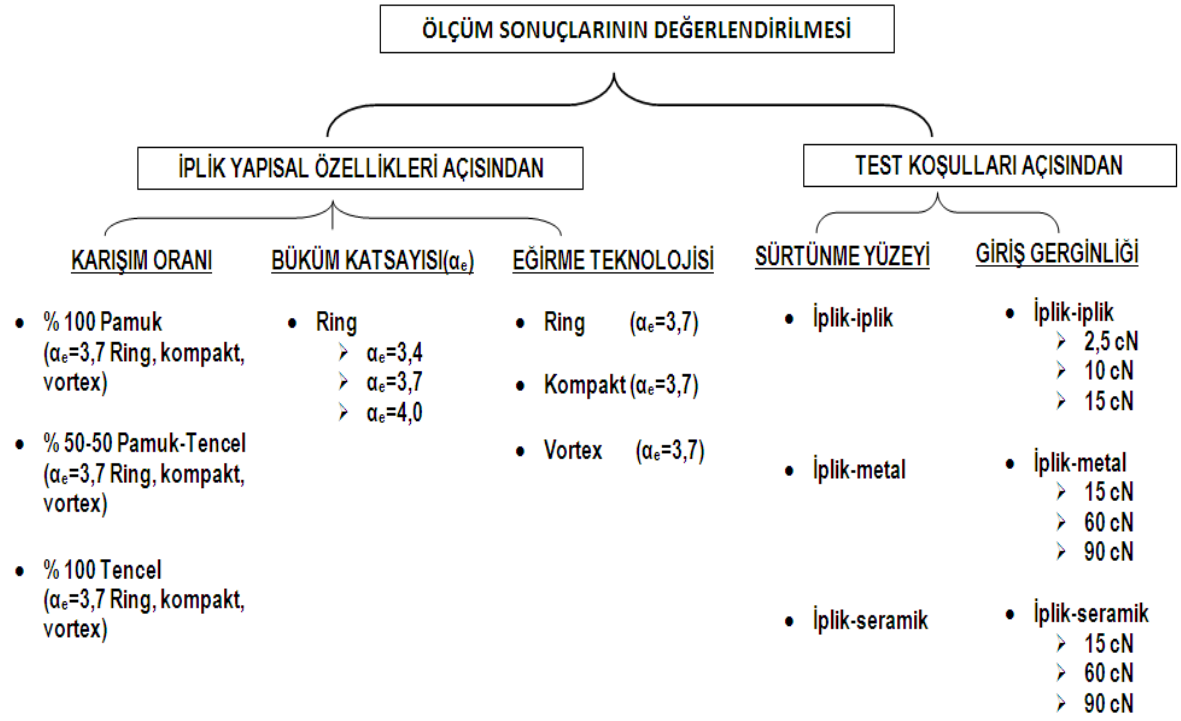
| Tip No | Hammadde | Eğirme Tek. | $\alpha_e$ | Çıkış Gerginliği/ Giriş Gerginliği ($T_2/T_1$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 15 cN | Ort. | 60 cN | Ort. | 90 cN | Ort. |
| 10 | % 100 Pamuk | Kompakt | 3,7 | 2,17 | 2,17 | 2,17 | 2,18 | 2,09 | 2,10 |
| | | | | 2,17 | | 2,18 | | 2,09 | |
| | | | | 2,18 | | 2,17 | | 2,09 | |
| | | | | 2,18 | | 2,19 | | 2,11 | |
| | | | | 2,16 | | 2,16 | | 2,10 | |
| 11 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Kompakt | 3,7 | 2,18 | 2,17 | 2,16 | 2,16 | 2,11 | 2,11 |
| | | | | 2,18 | | 2,15 | | 2,11 | |
| | | | | 2,17 | | 2,16 | | 2,10 | |
| | | | | 2,16 | | 2,16 | | 2,11 | |
| | | | | 2,17 | | 2,15 | | 2,11 | |
| 12 | % 100 Tencel | Kompakt | 3,7 | 2,20 | 2,20 | 2,23 | 2,25 | 2,15 | 2,16 |
| | | | | 2,20 | | 2,26 | | 2,16 | |
| | | | | 2,20 | | 2,28 | | 2,17 | |
| | | | | 2,20 | | 2,25 | | 2,16 | |
| | | | | 2,19 | | 2,24 | | 2,15 | |
| 13* | % 100 Pamuk | Vortex | 3,7 | 2,22 | 2,20 | 2,20 | 2,20 | * | |
| | | | | 2,21 | | 2,20 | | | |
| | | | | 2,20 | | 2,19 | | | |
| | | | | 2,18 | | 2,21 | | | |
| | | | | 2,21 | | 2,20 | | | |
| 14 | % 50/50 Pamuk/Tencel | Vortex | 3,7 | 2,22 | 2,21 | 2,24 | 2,24 | 2,17 | 2,15 |
| | | | | 2,21 | | 2,25 | | 2,19 | |
| | | | | 2,20 | | 2,25 | | 2,13 | |
| | | | | 2,22 | | 2,24 | | 2,14 | |
| | | | | 2,21 | | 2,24 | | 2,13 | |
| 15 | % 100 Tencel | Vortex | 3,7 | 2,25 | 2,25 | 2,27 | 2,27 | 2,33 | 2,37 |
| | | | | 2,25 | | 2,30 | | 2,38 | |
| | | | | 2,24 | | 2,26 | | 2,37 | |
| | | | | 2,25 | | 2,27 | | 2,38 | |
| | | | | 2,24 | | 2,28 | | 2,37 | |

*90 cN giriş gerginliğinde %100 pamuk vortex ipliklerinde meydana gelen kopuşlar nedeniyle iplik-seramik sürtünme testi gerçekleştirilememiştir.

# BÖLÜM DÖRT

# SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde tezin üçüncü bölümünde yer alan iplik sürtünmesi ölçüm sonuçları, uygulanan deney planına göre Şekil 4.1'deki sistematik yaklaşım göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.




Şekil 4.1 İplik sürtünmesi sonuçlarının değerlendirilmesinde izlenen yaklaşım

İplik sürtünme özelliğini etkileyen faktörlerin incelenmesi ve tipler arası farklılıkların tespiti amacıyla varyans analizi kullanılmış ve tüm değerlendirmeler %95 güven seviyesi için yapılmıştır. Deney planının tamamında deneme deseninin aynı olmaması nedeniyle her bir bağımsız değişkenin iplik sürtünmesi ölçüm sonuçları üzerine etkisi ayrı ayrı incelenmiştir.

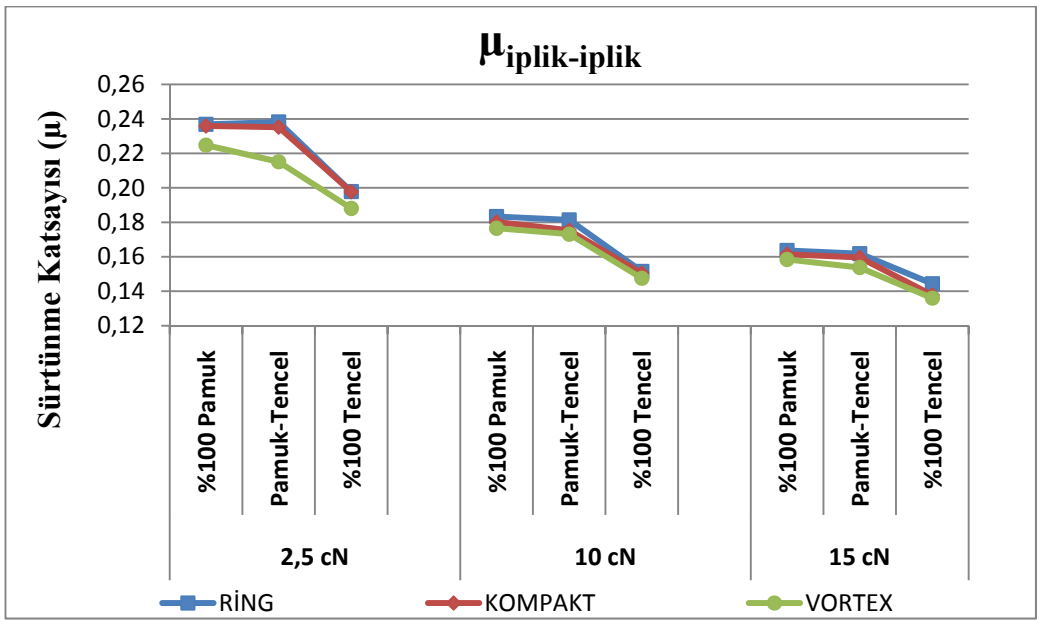
## 4.1 İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarının İplik Yapısal Özellikleri Açısından Değerlendirilmesi

İplik sürtünmesi ölçüm sonuçlarının iplik yapısal özellikleri açısından değerlendirilmesi amacıyla elde edilen iplik sürtünmesi sonuçları hammadde, eğirme teknolojisi ve büküm seviyesi esas alınarak incelenmiştir. Bu bölümde incelenen yapısal parametrelerin sırasıyla iplik-iplik, iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayısına etkisi değerlendirilmektedir.

### *4.1.1 İplik-İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Hammadde ve Eğirme Teknolojisinin Etkisi*

Hammadde ve eğirme teknolojisinin iplik-iplik sürtünmesi üzerine etkisini incelemek amacıyla yapılan istatistiksel değerlendirmede ring, kompakt, vortex eğirme teknolojisinde $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip hammaddesi %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel toplam dokuz tip ipliğe ait sonuçlar dikkate alınmıştır.

Şekil 4.2'de 2,5 cN, 10 cN ve 15 cN giriş gerginliğinde iplik-iplik sürtünmesi ölçüm sonuçlarının hammadde ve eğirme teknolojisine göre değişimi verilmektedir.




Şekil 4.2 Farklı giriş gerginlikleri için $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip ipliklerin iplik-iplik sürtünme katsayıları

Şekil 4.2 incelendiğinde bütün giriş gerginlikleri için iplik-iplik sürtünme katsayısı değişiminde benzer bir eğilimin olduğu görülmektedir. Araştırmada incelenen eğirme teknolojileri ve giriş gerginlikleri için karışımdaki rejenere selüloz lifi(Tencel) oranı arttıkça iplik-iplik sürtünme katsayısında düşüş gözlenmiştir. Buna ek olarak kullanılan bütün giriş gerginlikleri ve bütün hammaddeler için ring ipliklerinin iplik-iplik sürtünme katsayısı en yüksekken, vortex ipliklerin iplik-iplik sürtünme katsayısı en düşük değere sahiptir. Tablo 4.1'de eğirme teknolojileri ve giriş gerginlikleri açısından iplik-iplik sürtünme katsayısındaki yüzde değişim görülmektedir.

Tablo 4.1 Eğirme teknolojisine göre iplik-iplik sürtünme katsayısı değişimi(%)

| **Giriş gerginliği** | **Hammadde** | **İplik-iplik sürtünme katsayısı değişimi(%)** | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **Ring- Kompakt** | **Kompakt- Vortex** | **Ring-Vortex** |
| **2,5 cN** | %100 Pamuk | -0,39 | -4,97 | -5,39 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | -1,26 | -9,33 | -10,71 |
| | %100 Tencel | -0,08 | -5,12 | -5,20 |
| **10 cN** | %100 Pamuk | -1,74 | -2,08 | -3,85 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | -3,46 | -1,31 | -4,81 |
| | %100 Tencel | -0,67 | -2,02 | -2,71 |
| **15 cN** | %100 Pamuk | -1,37 | -1,92 | -3,32 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | -1,39 | -3,78 | -5,23 |
| | %100 Tencel | -4,78 | -1,31 | -6,15 |

Tablodaki (-) işareti düşüşü göstermektedir.

Tablo 4.1'den de görüldüğü gibi 2,5 cN giriş gerginliğinde ring ve kompakt eğirme teknolojisi ile üretilmiş %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel ipliklerinin iplik-iplik sürtünme katsayısı değerleri birbirine oldukça yakınken, vortex iplikleri ile aralarındaki fark özellikle %100 pamuk ve %50/50 pamuk/Tencel iplikler için daha fazladır. Giriş gerginliklerinin tamamına bakıldığında bütün hammaddeler için ring ve kompakt iplikleri arasındaki farkın %5'i geçmediği görülmektedir. Ayrıca 10 cN ve 15 cN giriş gerginliğinde ring, kompakt ve vortex ipliklerin iplik-iplik sürtünme katsayısı değerleri birbirine oldukça yakındır. Ring ve

kompakt iplik eğirme süreci arasındaki benzerlik nedeniyle bu ipliklerinin yüzey özellikleri birbirine yakındır. Ring ve kompakt iplikleri arasındaki bu benzerlik ve bu ipliklerin vortex ipliği ile olan farklılığı düşük giriş gerginliğinde (2,5 cN) daha net ortaya çıkmaktadır. Daha yüksek giriş gerginliklerinde ise artan giriş gerginliğinin etkisiyle test edilen ipliklerin yüzeyi düzleşmektedir. Bu nedenle giriş gerginliği arttıkça (10 cN ve 15 cN) bütün ipliklerin iplik-iplik sürtünme katsayıları arasındaki fark azalmaktadır.

Tablo 4.2'de bağımsız değişkenlerin iplik-iplik sürtünme katsayısı üzerinde etkisini göstermek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları görülmektedir.

Tablo 4.2 $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip ipliklerin iplik-iplik sürtünmesi varyans analizi sonuçları

| **Varyasyon Kaynağı** | **F** | **p** |
|---|---|---|
| Eğirme teknolojisi | 229,959 | 0,000* |
| Hammadde | 2616,37 | 0,000* |
| Giriş gerginliği | 11346,9 | 0,000* |
| Eğirme tek.*Hammadde | 8,70567 | 0,000* |
| Eğirme tek.*Giriş gerginliği | 32,1085 | 0,000* |
| Hammadde*Giriş gerginliği | 68,9435 | 0,000* |
| Eğirme teknolojisi*Hammadde*Giriş gerginliği | 5,34277 | 0,000* |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

Tablo 4.2'de görüldüğü gibi incelenen tüm bağımsız değişkenlerin ve etkileşimlerinin iplik-iplik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi %95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemlidir. Bu nedenle karışım oranı ve eğirme teknolojisinin etkisini daha ayrıntılı olarak inceleyebilmek amacıyla bu bölümde dikkate alınan iplik tipleri için ikili karşılaştırmalar yapılmıştır.

Araştırmada kullanılan ipliklerin iplik-iplik sürtünme katsayısına eğirme teknolojisinin etkisi Tablo 4.3'te verilmektedir.

Tablo 4.3 Farklı giriş gerginliklerinde farklı eğirme teknolojileri açısından iplik-iplik sürtünmesi için ikili karşılaştırma tablosu

| 2,5 cN | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| %100 PAMUK | Eğirme Tek. | p | PAMUK/TENCEL | Eğirme Tek. | p | %100 TENCEL | Eğirme Tek. | p |
| | Ring-Kompakt | 0,513 | | Ring-Kompakt | 0,055 | | Ring-Kompakt | 0,916 |
| | Kompakt-Vortex | 0,000* | | Kompakt-Vortex | 0,000* | | Kompakt-Vortex | 0,000* |
| | Ring-Vortex | 0,000* | | Ring-Vortex | 0,000* | | Ring-Vortex | 0,000* |
| **10 cN** | | | | | | | | |
| %100 PAMUK | Eğirme Tek. | p | PAMUK/TENCEL | Eğirme Tek. | p | %100 TENCEL | Eğirme Tek. | p |
| | Ring-Kompakt | 0,032* | | Ring-Kompakt | 0,000* | | Ring-Kompakt | 0,585 |
| | Kompakt-Vortex | 0,015* | | Kompakt-Vortex | 0,066 | | Kompakt-Vortex | 0,125 |
| | Ring-Vortex | 0,000* | | Ring-Vortex | 0,000* | | Ring-Vortex | 0,047* |
| **15 cN** | | | | | | | | |
| %100 PAMUK | Eğirme Tek. | p | PAMUK/TENCEL | Eğirme Tek. | p | %100 TENCEL | Eğirme Tek. | p |
| | Ring-Kompakt | 0,069 | | Ring-Kompakt | 0,049* | | Ring-Kompakt | 0,000* |
| | Kompakt-Vortex | 0,018* | | Kompakt-Vortex | 0,000* | | Kompakt-Vortex | 0,000* |
| | Ring-Vortex | 0,000* | | Ring-Vortex | 0,000* | | Ring-Vortex | 0,170 |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

Tablo 4.3'ten de görüldüğü gibi Tablo 4.1'de yer alan bütün bağımsız değişkenler ve etkileşimleri arasındaki farklar istatistiksel açıdan önemliyken, farklı hammaddeler için eğirme teknolojisi dikkate alınarak yapılan ikili karşılaştırmalar sonucunda deneysel çalışmadaki %100 pamuk ring ve kompakt ipliklerinin 2,5 cN ve 15 cN giriş gerginlikleri için iplik-iplik sürtünme katsayısı arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. %50/50 pamuk/Tencel ipliklerine ait ikili karşılaştırmalar incelendiğinde 10 cN giriş gerginliğinde kompakt ve vortex iplikleri arasındaki fark ve 2,5 cN ve 15 cN giriş gerginliklerinde ring ve kompakt iplikleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli değildir.

Hammaddeler ve giriş gerginlikleri açısından iplik-iplik sürtünme katsayısındaki yüzde değişim Tablo 4.4'de görülmektedir.

Tablo 4.4 Hammaddeye göre iplik-iplik sürtünme katsayısı değişimi(%)

| Giriş Gerginliği | Eğirme Teknolojisi | İplik-iplik sürtünme katsayısı değişimi(%) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Pamuk-Pamuk/Tencel | Pamuk/Tencel-Tencel | Pamuk-Tencel |
| 2,5 cN | Ring | 0,56 | -20,38 | -19,71 |
| | Kompakt | -0,31 | -18,98 | -19,35 |
| | Vortex | -4,46 | -14,40 | -19,51 |
| 10 cN | Ring | -1,05 | -19,77 | -21,03 |
| | Kompakt | -2,76 | -16,55 | -19,76 |
| | Vortex | -1,98 | -17,37 | -19,69 |
| 15 cN | Ring | -1,16 | -17,45 | -18,81 |
| | Kompakt | -1,18 | -10,56 | -11,86 |
| | Vortex | -3,03 | -13,07 | -16,50 |

Tablodaki (-) işareti düşüşü göstermektedir.

Tablo 4.4. incelendiğinde iplik-iplik sürtünmesinde kullanılan bütün giriş gerginlikleri için ring, kompakt ve vortex eğirme teknolojisi ile üretilmiş %100 pamuk-%50/50 pamuk/Tencel ipliklerinin iplik-iplik sürtünme katsayıları arasındaki farkın %5'i geçmediği görülmektedir. %50/50 pamuk/Tencel-%100 Tencel ve %100 pamuk -%100 Tencel iplikleri arasındaki fark ise %10-20 arasında değişmektedir (Tablo 4.4). Daha önceden belirtildiği gibi karışıma Tencel lifi eklenmesiyle birlikte iplik-iplik sürtünme katsayısı düşmektedir. Karışıma eklenen Tencel lifinin enine kesiti dairesel olup, lifin yüzeyi oldukça düzgündür. Bu nedenle Tencel lifi eklendikçe ipliklerin yüzey pürüzlülüğünün azalacağı düşünülmektedir. Dolayısıyla ipliğin diğer iplikle sürtünmesi sırasında asperitlerin azalması ve iplik-iplik sürtünmesinin düşmesi beklenmektedir. Tablo 4.4'ten de görüldüğü gibi bu düşüş %100 Tencel ipliklerinde daha net görülmektedir.

Hammaddeler açısından iplik-iplik sürtünme katsayıları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olup olmadığı Tablo 4.5'te bulunan ikili karşılaştırma sonuçlarında görülmektedir.

Tablo 4.5 Farklı giriş gerginliklerinde farklı hammaddeler açısından iplik-iplik sürtünmesi için ikili karşılaştırma tablosu

| **2,5 cN** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **RİNG** | **Hammadde** | **p** | **KOMPAKT** | **Hammadde** | **p** | **VORTEX** | **Hammadde** | **p** |
| | Pamuk-%50/50 P/T | 0,311 | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,650 | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,000* |
| | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* | | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* | | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* |
| | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,000* |
| **10 cN** | | | | | | | | |
| **RİNG** | **Hammadde** | **p** | **KOMPAKT** | **Hammadde** | **p** | **VORTEX** | **Hammadde** | **p** |
| | Pamuk-%50/50 P/T | 0,244 | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,012* | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,006* |
| | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* | | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* | | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* |
| | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,000* |
| **15 cN** | | | | | | | | |
| **RİNG** | **Hammadde** | **p** | **KOMPAKT** | **Hammadde** | **p** | **VORTEX** | **Hammadde** | **p** |
| | Pamuk-%50/50 P/T | 0,226 | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,083 | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,000* |
| | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* | | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* | | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* |
| | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,000* |

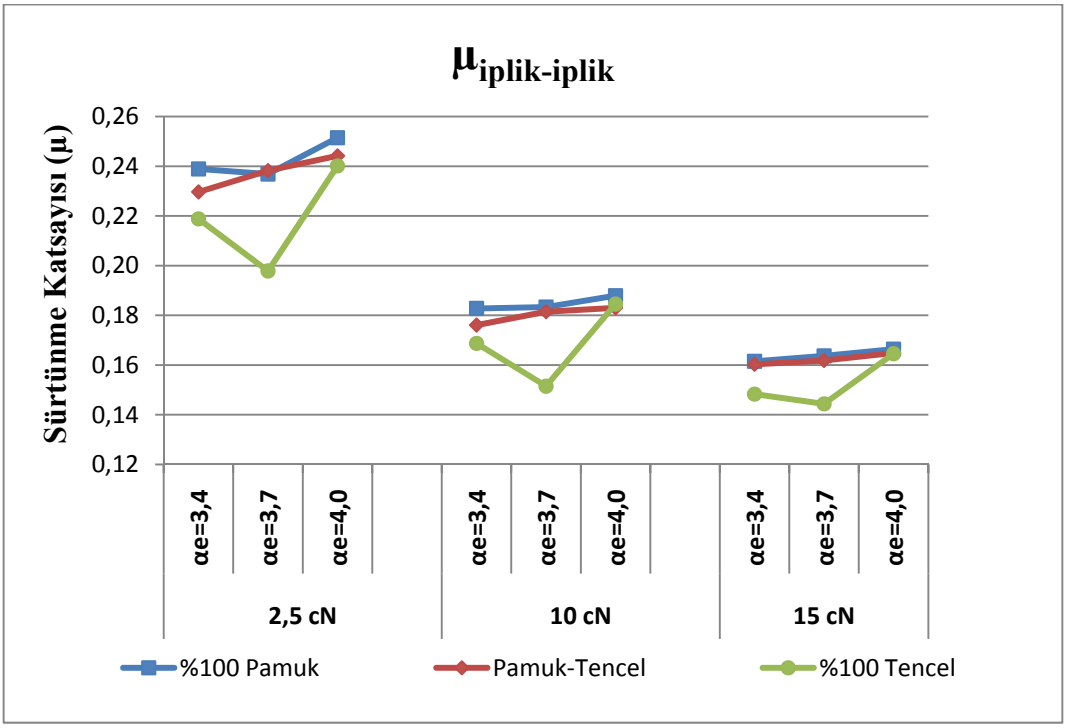
* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

Tablo 4.5 incelendiğinde deneysel çalışmada kullanılan bütün giriş gerginlikleri için ring iplik eğirme teknolojisi ile üretilmiş %100 pamuk ve %50/50 pamuk/Tencel ipliklerinin iplik-iplik sürtünme katsayıları arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte vortex iplik teknolojisinde farklı hammaddeler kullanılarak üretilmiş bütün ipliklerin sürtünme katsayıları arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu anlaşılmaktadır. Kompakt iplikleri incelendiğinde ise iplik-iplik sürtünme katsayıları arasındaki fark çoğunlukla önemli iken yalnızca 2,5 cN ve 15 cN giriş gerginliğinde %100 pamuk ve %50/50 pamuk/Tencel ipliklerinin iplik-iplik sürtünme katsayısı arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli değildir.

### *4.1.2 İplik-İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Büküm Katsayısının Etkisi*

Büküm katsayısının iplik-iplik sürtünmesi üzerine etkisini incelemek amacıyla istatistiksel değerlendirmede %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel $\alpha_e$=3,4, $\alpha_e$=3,7 ve $\alpha_e$=4,0 büküm katsayısına sahip toplam dokuz tip ring ipliğine ait sonuçlar dikkate alınmıştır.

Şekil 4.3'te 2,5 cN, 10 cN ve 15 cN giriş gerginliğinde ring ipliklerinin iplik-iplik sürtünmesi ölçüm sonuçlarının büküm katsayısına göre değişimi görülmektedir.




Şekil 4.3 Farklı büküm katsayısına sahip ring ipliklerin iplik-iplik sürtünme katsayıları

Şekil 4.3 incelendiğinde en yüksek iplik-iplik sürtünme katsayısı değerlerinin tüm büküm seviyeleri için 2,5 cN giriş gerginliğinde elde edildiği ve giriş gerginliği arttıkça tüm ipliklerin sürtünme katsayılarının benzer şekilde azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.3'te 15 cN giriş gerginliğinde farklı büküm katsayıları için %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel ipliklerinin iplik-iplik sürtünme katsayısı sonuçlarının birbirine daha yakın olduğu görülmektedir. İplikteki gerginliğin artması ile birlikte iplik yüzeyi düzleşmekte ve farklı büküm katsayılarına sahip ring ipliklerinin yapısı giriş gerginliği arttıkça birbirine yakınlaşmaktadır. 2,5 cN giriş

gerginliğinde ise yapılar arası farklılık daha net görülmektedir. Görüldüğü gibi %100 pamuk ve %50/50 pamuk-Tencel ring ipliklerinin farklı büküm katsayıları için iplik-iplik sürtünme katsayıları sonuçları arasındaki fark oldukça düşüktür. Ancak %100 Tencel ipliklerin farklı büküm katsayılarına ait iplik-iplik sürtünme katsayıları sonuçları arasındaki fark oldukça fazladır (Tablo 4.6). %100 Tencel ipliklerin diğer eğirme teknolojilerinde de iplik-iplik sürtünme katsayısı araştırmada incelenen diğer tiplere göre düşüktür. Rejenere selüloz lifi katkısının iplik-iplik sürtünme katsayısında azalmaya sebep olması beklenen bir sonuç olmakla birlikte büküm seviyesi artışı ile sürtünme katsayısı artmaktadır. Bu durumu açıklamak için bu ipliklerin gerçekleşen büküm değerleri incelenmiş ve tezin materyal-metot bölümünde Tablo 2.3'te verildiği gibi %100 Tencel iplikleri için planlanan büküm katsayısı değerleri ile gerçekleşen büküm katsayısı değerleri arasındaki farkın diğer hammaddelere göre daha fazla olmasıyla açıklanabilir. Farklı büküm katsayılarına sahip ring ipliklerinin sürtünme katsayıları arasındaki fark Tablo 4.6'da daha net görülmektedir.

Tablo 4.6 Farklı büküm katsayılarına sahip ring ipliklerinin iplik-iplik sürtünme katsayısı değişimi(%)

| **Giriş Gerginliği** | **Hammadde** | **İplik-iplik sürtünme katsayısı değişimi(%)** | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $\alpha_{e3,4} - \alpha_{e3,7}$ | $\alpha_{e3,7} - \alpha_{e4,0}$ | $\alpha_{e3,4} - \alpha_{e4,0}$ |
| **2,5 cN** | %100 Pamuk | -0,9 | +5,8 | +5,0 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | +3,6 | +2,4 | +5,9 |
| | %100 Tencel | -10,6 | +17,6 | +8,9 |
| **10 cN** | %100 Pamuk | +0,3 | +2,4 | +2,7 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | +3,0 | +0,9 | +3,8 |
| | %100 Tencel | -11,4 | +17,9 | +8,6 |
| **15 cN** | %100 Pamuk | +1,3 | +1,6 | +2,9 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | +1,0 | +1,8 | +2,8 |
| | %100 Tencel | -2,7 | +12,3 | +9,9 |

Tablodaki (-) işareti düşüşü, (+) işareti artışı göstermektedir.

Tablo 4.6 incelendiğinde %100 Tencel ring ipliklerine ait değerler haricinde diğer değerlerin -%3 ile +%5 civarındadır. Tablo 4.6'da bütün giriş gerginlikleri için

özellikle $\alpha_e$=3,7 ve $\alpha_e$=4,0 büküm katsayısına sahip %100 Tencel ipliklerin iplik-iplik sürtünme katsayıları arasındaki farkın oldukça yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Tablo 4.7'de farklı büküm katsayılarına sahip ring ipliklerinin iplik-iplik sürtünme katsayısı üzerinde bağımsız değişkenlerin etkisini göstermek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları görülmektedir.

Tablo 4.7 Farklı büküm katsayılarına sahip ring ipliklerinin iplik-iplik sürtünmesi varyans analizi sonuçları

| **Varyasyon Kaynağı** | **F** | **p** |
|---|---|---|
| Büküm katsayısı | 476,24 | 0,000* |
| Hammadde | 683,575 | 0,000* |
| Giriş gerginliği | 12295,8 | 0,000* |
| Büküm katsayısı*Hammadde | 171,812 | 0,000* |
| Büküm katsayısı*Giriş gerginliği | 29,2392 | 0,000* |
| Hammadde*Giriş gerginliği | 27,9426 | 0,000* |
| Büküm katsayısı*Hammadde*Giriş gerginliği | 10,4153 | 0,000* |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

Büküm katsayısı dikkate alındığında %95 güven seviyesi için incelenen tüm bağımsız değişkenlerin ve etkileşimlerinin ring ipliklerinin iplik-iplik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemlidir (Tablo 4.7)

Tipler arası farkların daha ayrıntılı olarak değerlendirilmesi için yapılan ikili karşılaştırma sonuçları ise Tablo 4.8'de görülmektedir. Tablo 4.8'e göre 2,5 cN, 10 cN ve 15 cN giriş gerginliklerinin tamamında $\alpha_e$=3,4 ve $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip % 100 pamuk ring ipliklerinin iplik-iplik sürtünme katsayısı değerleri arasındaki fark %95 güven seviyesi için istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. %50/50 pamuk/Tencel ring ipliklerin farklı büküm katsayılarına ait iplik-iplik sürtünme katsayıları arasındaki fark ise çoğunlukla istatistiksel açıdan anlamlıdır. Bütün giriş gerginliklerinde %100 Tencel ring ipliklerinin ise $\alpha_e$=3,4, $\alpha_e$=3,7 ve $\alpha_e$=4,0 büküm katsayılarına sahip ipliklerin iplik-iplik sürtünme katsayıları arasındaki farkların tamamı istatistiksel açıdan önemlidir (Tablo 4.8).

Tablo 4.8 Farklı büküm katsayılarına sahip ring ipliklerin iplik-iplik sürtünmesi için ikili karşılaştırma tablosu

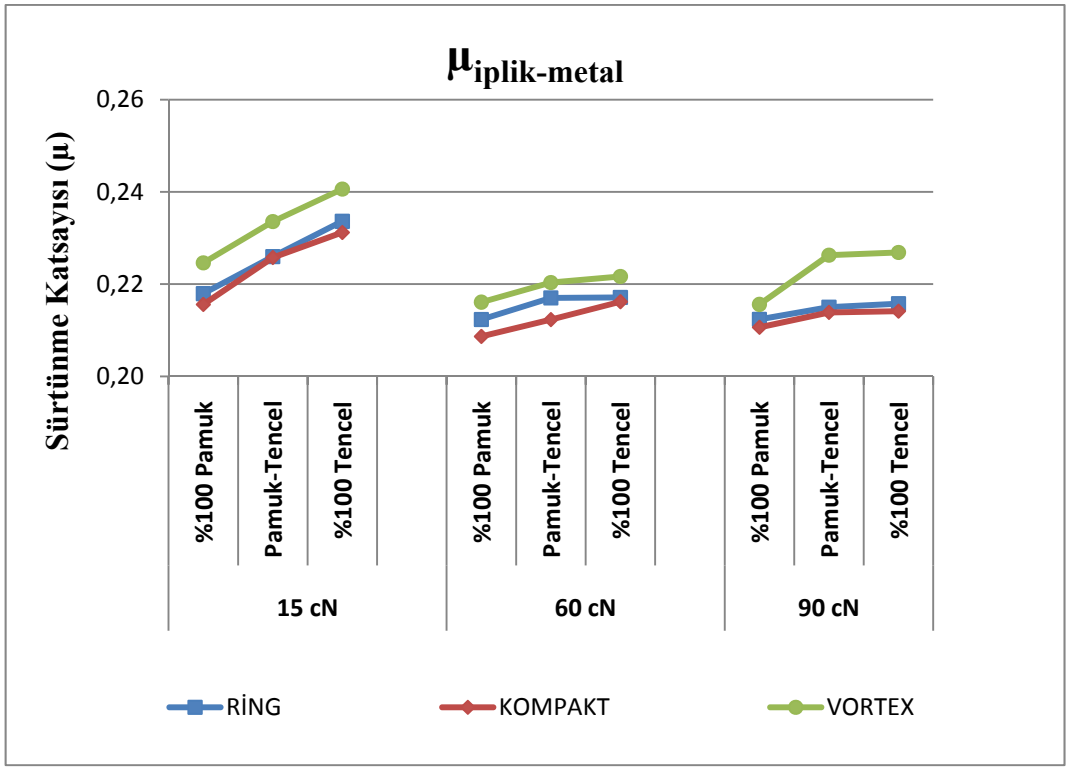
| **2,5 cN** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **%100 PAMUK** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **PAMUK/TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **%100 TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** |
| | 3,4-3,7 | 0,331 | | 3,4-3,7 | 0,000* | | 3,4-3,7 | 0,000* |
| | 3,7-4,0 | 0,000* | | 3,7-4,0 | 0,005* | | 3,7-4,0 | 0,000* |
| | 3,4-4,0 | 0,000* | | 3,4-4,0 | 0,000* | | 3,4-4,0 | 0,000* |
| **10 cN** | | | | | | | | |
| **%100 PAMUK** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **PAMUK/TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **%100 TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** |
| | 3,4-3,7 | 0,604 | | 3,4-3,7 | 0,000* | | 3,4-3,7 | 0,000* |
| | 3,7-4,0 | 0,001* | | 3,7-4,0 | 0,056 | | 3,7-4,0 | 0,000* |
| | 3,4-4,0 | 0,000* | | 3,4-4,0 | 0,000* | | 3,4-4,0 | 0,000* |
| **15 cN** | | | | | | | | |
| **%100 PAMUK** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **PAMUK/TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **%100 TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** |
| | 3,4-3,7 | 0,203 | | 3,4-3,7 | 0,150 | | 3,4-3,7 | 0,004* |
| | 3,7-4,0 | 0,119 | | 3,7-4,0 | 0,011* | | 3,7-4,0 | 0,000* |
| | 3,4-4,0 | 0,011* | | 3,4-4,0 | 0,001* | | 3,4-4,0 | 0,000* |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

### *4.1.3 İplik-Metal Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Hammadde ve Eğirme Teknolojisinin Etkisi*

İplik-metal sürtünmesi ölçüm sonuçlarına hammadde ve eğirme teknolojisinin etkisini incelemek amacıyla istatistiksel değerlendirmede ring, kompakt, vortex eğirme teknolojisinde $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip olacak şekilde üretilmiş %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel toplam dokuz tip ipliğe ait sonuçlar dikkate alınmıştır.

Şekil 4.4'te 15 cN, 60 cN ve 90 cN giriş gerginliğine ait iplik-metal sürtünmesi ölçüm sonuçlarının hammadde ve eğirme teknolojisine göre değişimi görülmektedir.




Şekil 4.4 Farklı giriş gerginlikleri için $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip ipliklerin iplik-metal sürtünme katsayıları

Şekil 4.4 incelendiğinde araştırmada dikkate alınan eğirme teknolojileri ve giriş gerginliklerinde karışımdaki rejenere selüloz lifi (Tencel) oranı arttıkça iplik-metal sürtünme katsayısında artış gözlenmiştir. Bunun yanında kullanılan bütün giriş gerginlikleri ve bütün hammaddeler için vortex ipliklerinin iplik-metal sürtünme katsayıları en yüksek değerler sahipken, kompakt ipliklerin iplik-metal sürtünme katsayıları en düşük değerlere sahiptir. Eğirme teknolojileri ve giriş gerginlikleri açısından iplik-metal sürtünmesi ölçüm sonuçları arasındaki yüzdesel farklar Tablo 4.9'da görülmektedir.

Tablo 4.9 Eğirme teknolojisine göre iplik-metal sürtünme katsayısı değişimi (%)

| Giriş Gerginliği | Hammadde | İplik-metal sürtünme katsayısında değişim (%) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Ring- Kompakt | Kompakt- Vortex | Ring-Vortex |
| **15 cN** | %100 Pamuk | -1,09 | +4,02 | +2,98 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | -0,09 | +3,34 | +3,25 |
| | %100 Tencel | -1,05 | +3,91 | +2,90 |
| **60 cN** | %100 Pamuk | -1,76 | +3,45 | +1,74 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | -2,22 | +3,65 | +1,50 |
| | %100 Tencel | -0,43 | +2,48 | +2,06 |
| **90 cN** | %100 Pamuk | -0,83 | +2,31 | +1,50 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | -0,53 | +5,49 | +4,98 |
| | %100 Tencel | -0,77 | +5,62 | +4,89 |

Tablodaki (-) işareti düşüşü, (+) işareti artışı göstermektedir.

Tablo 4.9 dikkate alındığında araştırmada kullanılan giriş gerginlikleri için farklı eğirme teknolojisine sahip ipliklerin iplik-metal sürtünme katsayıları arasındaki farkın %2 ile %5 arasında değiştiği görülmektedir. Ring ve kompakt ipliklerin iplik-metal sürtünme katsayısı arasındaki değişim azalma yönünde olmakla birlikte en fazla %2 civarındadır. Vortex ipliklerle diğer eğirme teknolojilerinde üretilen iplikler karşılaştırıldığında ise iplik-metal sürtünme katsayısında artış gözlenmektedir. 15 cN, 60 cN ve 90 cN giriş gerginliklerinde bütün hammaddeler için kompakt iplik eğirme teknolojisiyle üretilmiş ipliklerin sürtünme katsayısı ring iplik eğirme teknolojisiyle üretilmiş ipliklerden daha düşüktür. Ayrıca iplik-iplik sürtünme katsayılarında olduğu gibi iplik-metal sürtünme katsayılarının tamamında da ring ve kompakt iplikler arasındaki fark yüzey benzerliği nedeniyle oldukça azdır.

Tablo 4.10'da iplik-metal sürtünme katsayısı üzerinde bağımsız değişkenlerin etkisini göstermek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları görülmektedir.

Tablo 4.10 $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip ipliklerin iplik-metal sürtünmesi varyans analizi sonuçları

| **Varyasyon Kaynağı** | **F** | **p** |
|---|---|---|
| Eğirme teknolojisi | 189,967 | 0,000* |
| Hammadde | 206,076 | 0,000* |
| Giriş gerginliği | 429,781 | 0,000* |
| Eğirme tek.*Hammadde | 3,75823 | 0,007* |
| Eğirme tek.*Giriş gerginliği | 4,94031 | 0,001* |
| Hammadde*Giriş gerginliği | 30,4344 | 0,000* |
| Eğirme teknolojisi*Hammadde*Giriş gerginliği | 5,05321 | 0,000* |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

Tablo 4.10'da incelenen tüm bağımsız değişkenlerin ve etkileşimlerinin iplik-metal sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi %95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir. Bu nedenle iplik-iplik sürtünmesi ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde olduğu gibi iplik-metal sürtünmesi ölçüm sonuçlarında da karışım oranı ve eğirme teknolojisinin etkisini daha ayrıntılı olarak inceleyebilmek amacıyla bu bölümde dikkate alınan iplik tipleri için ikili karşılaştırmalar yapılmıştır.

Araştırmada kullanılan ipliklerin iplik-metal sürtünme katsayısına eğirme teknolojisinin etkisi Tablo 4.11'de görülmektedir.

Tablo 4.11 Farklı giriş gerginliklerinde farklı eğirme teknolojileri açısından iplik-metal sürtünmesi için ikili karşılaştırma tablosu

| **15 cN** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **%100 PAMUK** | **Eğirme Tek.** | **p** | **PAMUK/TENCEL** | **Eğirme Tek.** | **p** | **%100 TENCEL** | **Eğirme Tek.** | **p** |
| | Ring-Kompakt | 0,002* | | Ring-Kompakt | 0,768 | | Ring-Kompakt | 0,379 |
| | Kompakt-Vortex | 0,000* | | Kompakt-Vortex | 0,000* | | Kompakt-Vortex | 0,004* |
| | Ring-Vortex | 0,000* | | Ring-Vortex | 0,000* | | Ring-Vortex | 0,022* |
| **60 cN** | | | | | | | | |
| **%100 PAMUK** | **Eğirme Tek.** | **p** | **PAMUK/TENCEL** | **Eğirme Tek.** | **p** | **%100 TENCEL** | **Eğirme Tek.** | **p** |
| | Ring-Kompakt | 0,004* | | Ring-Kompakt | 0,004* | | Ring-Kompakt | 0,538 |
| | Kompakt-Vortex | 0,000* | | Kompakt-Vortex | 0,000* | | Kompakt-Vortex | 0,003* |
| | Ring-Vortex | 0,003* | | Ring-Vortex | 0,026* | | Ring-Vortex | 0,009* |
| **90 cN** | | | | | | | | |
| **%100 PAMUK** | **Eğirme Tek.** | **p** | **PAMUK/TENCEL** | **Eğirme Tek.** | **p** | **%100 TENCEL** | **Eğirme Tek.** | **p** |
| | Ring-Kompakt | 0,228 | | Ring-Kompakt | 0,226 | | Ring-Kompakt | 0,026* |
| | Kompakt-Vortex | 0,003* | | Kompakt-Vortex | 0,000* | | Kompakt-Vortex | 0,000* |
| | Ring-Vortex | 0,036* | | Ring-Vortex | 0,000* | | Ring-Vortex | 0,000* |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

İstatistiksel değerlendirmede kullanılan bütün iplikler dikkate alındığında tüm bağımsız değişkenler ve etkileşimleri arasındaki farklar istatistiksel açıdan önemlidir (Tablo 4.10). Ancak yapılan ikili karşılaştırma sonuçları, ring ve kompakt eğirme teknolojisi ile üretilmiş %100 pamuk ipliklerin sürtünme katsayıları arasındaki farkın 15 cN ve 60 cN giriş gerginliğinde istatistiksel açıdan anlamlı olduğunu, 90 cN giriş gerginliğinde ise anlamlı olmadığını göstermiştir. Bunun dışında eğirme teknolojileri açısından %100 pamuk iplikleri için bütün farklar istatistiksel olarak anlamlıdır. %50/50 pamuk/Tencel ipliklerinde 15 cN ve 90 cN giriş gerginliğinde ring ve kompakt ipliklerin sürtünme katsayıları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli değildir. %100 Tencel ipliklerinde ise 15 cN ve 60 cN giriş gerginliğinde ring ve

kompakt iplikleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli değildir. Bunun dışında eğirme teknolojileri açısından elde edilen bütün farklar istatistiksel açıdan önemlidir.

Hammaddeler ve giriş gerginlikleri açısından iplik-iplik sürtünme katsayısındaki yüzde değişim Tablo 4.12'de görülmektedir.

Tablo 4.12 Eğirme teknolojisine göre iplik-metal sürtünme katsayısı değişimi (%)

| **Giriş Gerginliği** | **Eğirme Teknolojisi** | **İplik-metal sürtünme katsayısı değişimi (%)** | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **Pamuk-Pamuk/Tencel** | **Pamuk/Tencel-Tencel** | **Pamuk-Tencel** |
| **15 cN** | Ring | +3,56 | +3,28 | +6,72 |
| | Kompakt | +4,50 | +2,35 | +6,74 |
| | Vortex | +3,84 | +2,93 | +6,65 |
| **60 cN** | Ring | +2,16 | +0,04 | +2,20 |
| | Kompakt | +1,72 | +1,79 | +3,48 |
| | Vortex | +1,93 | +0,60 | +2,52 |
| **90 cN** | Ring | +1,23 | +0,35 | +1,58 |
| | Kompakt | +1,52 | +0,12 | +1,63 |
| | Vortex | +4,72 | +0,26 | +4,96 |

Tablodaki (-) işareti düşüşü, (+) işareti artışı göstermektedir.

Tablo 4.12 incelendiğinde karışıma eklenen Tencel lifi ile birlikte iplik-metal sürtünme katsayılarında artış gözlenmiştir. Ayrıca bütün eğirme teknolojilerinde %100 pamuk iplikleri ile %50/50 pamuk/Tencel ipliklerin iplik-metal sürtünmeleri arasındaki farkın %5'i geçmediği görülmektedir. %50/50 pamuk/Tencel iplikleri ile %100 Tencel iplikleri için elde edilen iplik-metal sürtünme katsayısı değerleri de birbirine oldukça yakındır. Özellikle 90 cN giriş gerginliğinde bu fark % 0,12'ye kadar düşmektedir. Ring ve kompakt iplikleri arasındaki bu benzerlik ve bu ipliklerin vortex ipliği ile olan farklılığı düşük giriş gerginliğinde (15 cN) daha net ortaya çıkmaktadır. (Tablo 4.12)

Hammaddeler açısından iplik-metal sürtünme katsayıları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olup olmadığı Tablo 4.13'te bulunan ikili karşılaştırma sonuçlarında görülmektedir.

Tablo 4.13 Farklı giriş gerginliklerinde farklı hammaddeler açısından iplik-metal sürtünmesi için ikili karşılaştırma tablosu

| 15 cN | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RİNG | Hammadde | p | KOMPAKT | Hammadde | p | VORTEX | Hammadde | p |
| | Pamuk-%50/50 P/T | 0,007* | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,000* | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,000* |
| | %50/50 P/T- Tencel | 0,009* | | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* | | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* |
| | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,000* |
| **60 cN** | | | | | | | | |
| RİNG | Hammadde | p | KOMPAKT | Hammadde | p | VORTEX | Hammadde | p |
| | Pamuk-%50/50 P/T | 0,000* | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,001* | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,041* |
| | %50/50 P/T- Tencel | 0,921 | | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* | | %50/50 P/T- Tencel | 0,486 |
| | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,011* |
| **90 cN** | | | | | | | | |
| RİNG | Hammadde | p | KOMPAKT | Hammadde | p | VORTEX | Hammadde | p |
| | Pamuk-%50/50 P/T | 0,001* | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,000* | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,000* |
| | %50/50 P/T- Tencel | 0,259 | | %50/50 P/T- Tencel | 0,615 | | %50/50 P/T- Tencel | 0,716 |
| | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,000* |

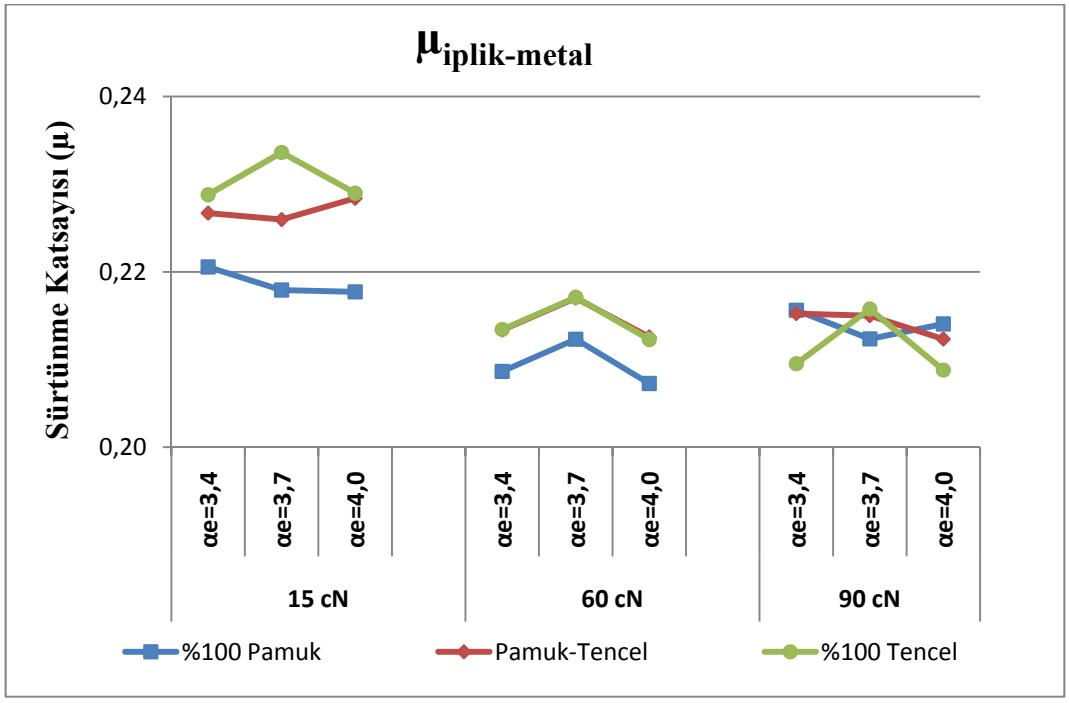
* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

Tablo 4.13'te 15 cN giriş gerginliğinde üç eğirme teknolojisi için de %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel ipliklerinin iplik-metal sürtünme katsayıları arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu görülmektedir ($p<0,05$). 60 cN ve 90 cN giriş gerginliğinde %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel ring ve vortex ipliklerin iplik-metal sürtünme katsayıları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. 60 cN giriş gerginliğinde %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel ring ve vortex ipliklerin arasındaki fark ve 90 cN giriş gerginliğinde tüm eğirme teknolojileri için aynı hammadde ikili karşılaştırmaları istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bunun dışında diğer farkların tamamı %95 güven seviyesi için istatistiksel açıdan anlamlıdır.

### *4.1.4 İplik-Metal Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Büküm Katsayısının Etkisi*

İplik-metal sürtünmesi üzerine büküm katsayısının etkisini incelemek amacıyla istatistiksel değerlendirmede %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel $\alpha_e$=3,4, $\alpha_e$=3,7 ve $\alpha_e$=4,0 büküm katsayısına sahip toplam dokuz tip ring ipliğine ait sonuçlar dikkate alınmıştır.

Şekil 4.5'te Farklı giriş gerginliklerinde ring ipliklerinin iplik-iplik sürtünmesi ölçüm sonuçlarının büküm katsayısına göre değişimi görülmektedir.




Şekil 4.5 Farklı büküm katsayısına sahip ring ipliklerin iplik-metal sürtünme katsayıları

Şekil 4.5'te ölçüm yapılan bütün giriş gerginliklerinde sadece %100 Tencel ipliklerinin iplik-metal sürtünme katsayısı ölçüm sonuçlarının benzer bir eğilim gösterdiği ve giriş gerginliği arttıkça iplik-metal sürtünme katsayısının azaldığı görülmektedir. 15 cN ve 60 cN giriş gerginliği ile gerçekleştirilen ölçümlerde %100 pamuk iplikleri en düşük iplik-metal sürtünme katsayısına sahiptir. Bununla birlikte 60 cN giriş gerginliği için %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel iplikleri sürtünme katsayısı değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu, bu nedenle grafik üzerinde çakıştığı görülmektedir.

Farklı büküm katsayısına sahip ring ipliklerinin iplik-metal sürtünme katsayıları arasındaki farklar Tablo 4.14'te görülmektedir.

Tablo 4.14 Farklı büküm katsayılarına sahip ring ipliklerinin iplik-metal sürtünme katsayısı değişimi (%)

| **Giriş Gerginliği** | **Hammadde** | **İplik-metal sürtünme katsayısı değişimi /%)** | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $\alpha_{e3,4} - \alpha_{e3,7}$ | $\alpha_{e3,7} - \alpha_{e4,0}$ | $\alpha_{e3,4} - \alpha_{e4,0}$ |
| **15 cN** | %100 Pamuk | -1,2 | -0,1 | -1,3 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | -0,3 | +1,1 | +0,7 |
| | %100 Tencel | 2,1 | -2,0 | +0,1 |
| **60 cN** | %100 Pamuk | +1,7 | -2,4 | -0,7 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | +1,7 | -2,1 | -0,4 |
| | %100 Tencel | +1,7 | -2,3 | -0,5 |
| **90 cN** | %100 Pamuk | -1,5 | +0,8 | -0,7 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | -0,1 | -1,3 | -1,4 |
| | %100 Tencel | 2,9 | -3,3 | -0,3 |

Tablodaki (-) işareti düşüşü, (+) işareti artışı göstermektedir.

Tablo 4.14'ten görüldüğü gibi bütün giriş gerginlikleri ve bütün hammaddeler için farklı büküm katsayılarına sahip ring ipliklerinin iplik-metal sürtünme katsayıları arasındaki fark oldukça düşüktür. Tablodaki en yüksek değer 90 cN giriş gerginliğinde $\alpha_e$=3,7 ve $\alpha_e$=4,0 büküm katsayısına sahip %100 Tencel ipliklerin iplik-metal sürtünme katsayıları arasındaki farktır. Bunun nedeni ise daha önceden de belirtildiği gibi hedeflenen ile gerçekleşen büküm katsayısı arasındaki farkın diğer hammaddelere oranla daha yüksek olması ile açıklanabilir.

Tablo 4.15'te farklı büküm katsayılarına sahip ring ipliklerinin iplik-metal sürtünme katsayısı üzerinde bağımsız değişkenlerin etkisini göstermek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları görülmektedir.

Tablo 4.15 Farklı büküm katsayılarına sahip ring ipliklerinin iplik-iplik sürtünmesi varyans analizi sonuçları

| **Varyasyon Kaynağı** | **F** | **p** |
|---|---|---|
| Büküm katsayısı | 12,2189 | 0,000* |
| Hammadde | 44,3829 | 0,000* |
| Giriş gerginliği | 332,731 | 0,000* |
| Büküm katsayısı*Hammadde | 5,22685 | 0,001* |
| Büküm katsayısı*Giriş gerginliği | 2,65097 | 0,037* |
| Hammadde*Giriş gerginliği | 27,845 | 0,000* |
| Büküm katsayısı*Hammadde*Giriş gerginliği | 1,94524 | 0,060 |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

Büküm katsayısı dikkate alındığında incelenen tüm bağımsız değişkenlerin ring ipliklerinin iplik-metal sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi %95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemlidir. Büküm katsayısı*hammadde*giriş gerginliği etkileşiminin iplik-metal sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Tipler arası farkların daha ayrıntılı olarak değerlendirilmesi için yapılan ikili karşılaştırma sonuçları Tablo 4.16'da görülmektedir. Tablo 4.16'ya göre 15 cN giriş gerginliğinde bütün hammaddeler için $\alpha_e$=3,4, $\alpha_e$=3,7 ve $\alpha_e$=4,0 büküm katsayısına sahip ring ipliklerinin iplik-metal sürtünme katsayısı değerleri arasındaki fark %95 güven seviyesi için istatistiksel açıdan önemli değildir. 60 cN giriş gerginliğinde tüm hammadde karışımları için $\alpha_e$=3,4 ile $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip ring ipliklerin sürtünme katsayıları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir. Bununla birlikte $\alpha_e$=3,4 ve $\alpha_e$=4,0 büküm katsayısına sahip %100 Tencel ring ipliklerinin iplik-metal sürtünme katsayıları arasındaki fark bütün giriş gerginliklerinde istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır.

.

Tablo 4.16 Farklı büküm katsayılarına sahip ring ipliklerin iplik-metal sürtünmesi için ikili karşılaştırma tablosu

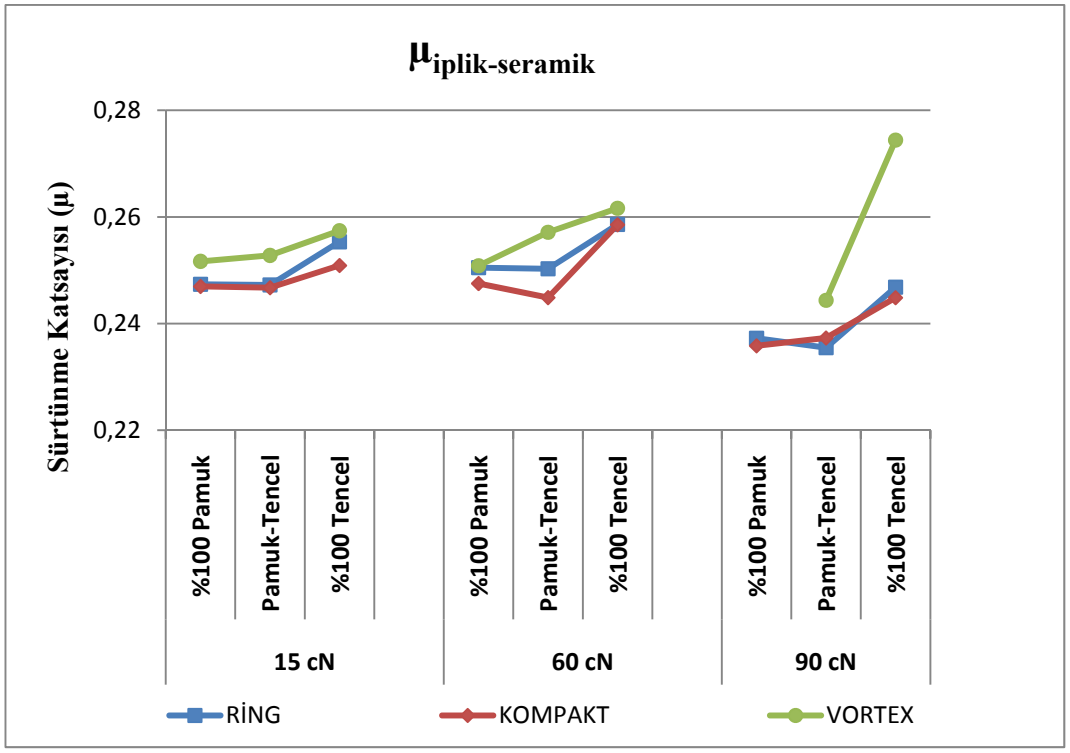
| **15 cN** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **%100 PAMUK** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **PAMUK/TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **%100 TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** |
| | 3,4-3,7 | 0,292 | | 3,4-3,7 | 0,823 | | 3,4-3,7 | 0,075* |
| | 3,7-4,0 | 0,931 | | 3,7-4,0 | 0,464 | | 3,7-4,0 | 0,085* |
| | 3,4-4,0 | 0,257 | | 3,4-4,0 | 0,607 | | 3,4-4,0 | 0,943 |
| **60 cN** | | | | | | | | |
| **%100 PAMUK** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **PAMUK/TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **%100 TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** |
| | 3,4-3,7 | 0,002* | | 3,4-3,7 | 0,002* | | 3,4-3,7 | 0,000* |
| | 3,7-4,0 | 0,173 | | 3,7-4,0 | 0,001* | | 3,7-4,0 | 0,000* |
| | 3,4-4,0 | 0,000* | | 3,4-4,0 | 0,450 | | 3,4-4,0 | 0,107 |
| **90 cN** | | | | | | | | |
| **%100 PAMUK** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **PAMUK/TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **%100 TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** |
| | 3,4-3,7 | 0,000* | | 3,4-3,7 | 0,627 | | 3,4-3,7 | 0,001* |
| | 3,7-4,0 | 0,005* | | 3,7-4,0 | 0,000* | | 3,7-4,0 | 0,000* |
| | 3,4-4,0 | 0,009* | | 3,4-4,0 | 0,000* | | 3,4-4,0 | 0,283 |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

### *4.1.5 İplik-Seramik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Hammadde ve Eğirme Teknolojisinin Etkisi*

Hammadde ve eğirme teknolojisinin iplik-seramik sürtünmesi üzerine etkisini incelemek amacıyla istatistiksel değerlendirmede ring, kompakt, vortex eğirme teknolojisinde $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel toplam dokuz tip ipliğe ait sonuçlar dikkate alınmıştır.

Şekil 4.6'da Farklı giriş gerginliklerinde iplik-iplik sürtünmesi ölçüm sonuçlarının hammadde ve eğirme teknolojisine göre değişimi verilmektedir.




Şekil 4.6 Farklı giriş gerginlikleri için $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip ipliklerin iplik-seramik sürtünme katsayıları

Şekil 4.6 incelendiğinde araştırmada kullanılan hammaddeler için ring ve kompakt ipliklerinin iplik-seramik sürtünme katsayılarının 0,24 ile 0,26 arasında değiştiği görülmekte ve vortex eğirme teknolojisi ile üretilmiş %100 pamuk ipliklerinin 90 cN giriş gerginliğinde iplik-seramik sürtünme katsayısının belirlenemediği dikkat çekmektedir. Bunun nedeni ise giriş gerginliği 90 cN olarak ayarlandığında bu iplikte sürekli kopuşların gerçekleşmesidir. Bu da ipliğin dinamik mukavemet değerinin 90 cN giriş gerginliği etkisi ile oluşan çıkış gerginliği değerinden daha düşük olması ile açıklanabilir. Bütün eğirme teknolojileri ve bütün giriş gerginliklerinde karışımdaki rejenere selüloz lifi(Tencel) oranı arttıkça iplik-seramik sürtünme katsayısında da artış gözlenmiştir. Ayrıca kullanılan bütün giriş gerginlikleri ve bütün hammaddeler için vortex ipliklerinin iplik-seramik sürtünme katsayısı en yüksek değere sahiptir. Tablo 4.17'de eğirme teknolojileri ve giriş gerginlikleri açısından iplik-seramik sürtünme katsayısındaki yüzde değişim görülmektedir.

Tablo 4.17 Eğirme teknolojisine göre iplik-seramik sürtünme katsayısı değişimi(%)

| **Giriş Gerginliği** | **Hammadde** | **İplik-seramik sürtünme katsayısı değişimi(%)** | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **Ring- Kompakt** | **Kompakt- Vortex** | **Ring-Vortex** |
| **15 cN** | %100 Pamuk | -0,15 | +1,86 | +1,71 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | -0,21 | +2,40 | +2,19 |
| | %100 Tencel | -1,77 | +2,53 | + 0,81 |
| **60 cN** | %100 Pamuk | -1,19 | + 1,32 | + 0,14 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | -2,21 | + 4,76 | + 2,66 |
| | %100 Tencel | -0,02 | + 1,18 | + 1,15 |
| **90 cN** | %100 Pamuk | -0,60 | * | * |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | +0,77 | + 2,89 | + 3,63 |
| | %100 Tencel | -0,80 | + 10,77 | + 10,05 |

Tablodaki (-) işareti düşüşü, (+) işareti artışı göstermektedir.

*Test sırasında sürekli kopuş olması sebebiyle sürtünme özellikleri belirlenememiştir.

Tablo 4.17'ye göre 15 cN, 60 cN ve 90 cN giriş gerginliklerinde bütün hammaddeler için kompakt iplik eğirme teknolojisiyle üretilmiş ipliklerin iplik-seramik sürtünme katsayısı iplik-metal sürtünme katsayısında olduğu gibi ipliklerden daha düşüktür. Tablo 4.17 incelendiğinde 90 cN giriş gerginliğinde %100 Tencel kompakt-vortex ve ring-vortex ipliklerin iplik-seramik sürtünme katsayısı hariç diğer bütün değerler %5'in altında yer aldığı görülmektedir.

Tablo 4.18'de iplik-seramik sürtünme katsayısı üzerinde bağımsız değişkenlerin etkisini göstermek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları görülmektedir.

Tablo 4.18 $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip ipliklerin iplik-seramik sürtünmesi varyans analizi sonuçları

| **Varyasyon Kaynağı** | **F** | **p** |
|---|---|---|
| Eğirme teknolojisi | 189,967 | 0,000* |
| Hammadde | 206,076 | 0,000* |
| Giriş gerginliği | 429,781 | 0,000* |
| Eğirme tek.*Hammadde | 3,75823 | 0,007* |
| Eğirme tek.*Giriş gerginliği | 4,94031 | 0,001* |
| Hammadde*Giriş gerginliği | 30,4344 | 0,000* |
| Eğirme teknolojisi*Hammadde*Giriş gerginliği | 5,05321 | 0,000* |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

Tablo 4.18'de görüldüğü gibi incelenen tüm bağımsız değişkenlerin ve etkileşimlerinin iplik-seramik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi %95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemlidir. Bu nedenle iplik-iplik ve iplik-metal sürtünme katsayısı ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde olduğu gibi bu bölümde de dikkate alınan iplik tipleri için ikili karşılaştırmalar yapılmıştır.

Araştırmada kullanılan ipliklerin iplik-seramik sürtünme katsayısına eğirme teknolojisinin etkisi Tablo 4.19'da görülmektedir. Tablo 4.18'de bütün değişkenler ve etkileşimleri arasındaki farklar istatistiksel açıdan önemliyken, ikili karşılaştırmalar dikkate alındığında 90 cN giriş gerginliğinde üç hammadde için de ring ve kompakt ipliklerinin iplik-seramik sürtünme katsayıları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Bu durum 15 cN giriş gerginliğinde %100 pamuk ve %50/50 pamuk/Tencel ipliklerinin iplik-seramik sürtünme katsayıları ve 60 cN giriş gerginliğinde %100 Tencel ipliklerinin iplik-seramik sürtünme katsayıları için de geçerlidir.

Tablo 4.19 Farklı giriş gerginliklerinde farklı eğirme teknolojileri açısından iplik-seramik sürtünmesi için ikili karşılaştırma tablosu

| **15 cN** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **%100 PAMUK** | **Eğirme Tek.** | **p** | **PAMUK/TENCEL** | **Eğirme Tek.** | **p** | **%100 TENCEL** | **Eğirme Tek.** | **p** |
| | Ring-Kompakt | 0,711 | | Ring-Kompakt | 0,465 | | Ring-Kompakt | 0,000* |
| | Kompakt-Vortex | 0,001* | | Kompakt-Vortex | 0,000* | | Kompakt-Vortex | 0,000* |
| | Ring-Vortex | 0,001* | | Ring-Vortex | 0,000* | | Ring-Vortex | 0,036* |
| **60 cN** | | | | | | | | |
| **%100 PAMUK** | **Eğirme Tek.** | **p** | **PAMUK/TENCEL** | **Eğirme Tek.** | **p** | **%100 TENCEL** | **Eğirme Tek.** | **p** |
| | Ring-Kompakt | 0,009* | | Ring-Kompakt | 0,000 | | Ring-Kompakt | 0,966 |
| | Kompakt-Vortex | 0,004* | | Kompakt-Vortex | 0,000 | | Kompakt-Vortex | 0,047* |
| | Ring-Vortex | 0,710 | | Ring-Vortex | 0,000 | | Ring-Vortex | 0,051* |
| **90cN** | | | | | | | | |
| **%100 PAMUK** | **Eğirme Tek.** | **p** | **PAMUK/TENCEL** | **Eğirme Tek.** | **p** | **%100 TENCEL** | **Eğirme Tek.** | **p** |
| | Ring-Kompakt | 0,228 | | Ring-Kompakt | 0,262 | | Ring-Kompakt | 0,180 |
| | Kompakt-Vortex | ** | | Kompakt-Vortex | 0,000* | | Kompakt-Vortex | 0,000* |
| | Ring-Vortex | ** | | Ring-Vortex | 0,000* | | Ring-Vortex | 0,000* |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

* * 90 cN giriş gerginliğinde %100 pamuk vortex ipliklerin sürtünmesi ölçülememiştir.

Hammaddeler ve giriş gerginlikleri açısından iplik-seramik sürtünme katsayısındaki yüzde değişim Tablo 4.20'de görülmektedir.

Tablo 4.20 Hammaddeye göre iplik-seramik sürtünme katsayısı değişimi (%)

| Giriş Gerginliği | Eğirme Teknolojisi | İplik-seramik sürtünme katsayısı değişimi(%) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Pamuk-Pamuk/Tencel | Pamuk/Tencel-Tencel | Pamuk-Tencel |
| **15 cN** | Ring | -0,04 | +3,17 | +3,12 |
| | Kompakt | -0,10 | +1,66 | +1,56 |
| | Vortex | +0,44 | +1,80 | +2,23 |
| **60 cN** | Ring | -0,08 | +3,22 | +3,14 |
| | Kompakt | -1,08 | +5,28 | +4,26 |
| | Vortex | +2,44 | +1,72 | +4,12 |
| **90 cN** | Ring | -0,75 | +4,59 | +3,88 |
| | Kompakt | +0,62 | +3,08 | +3,69 |
| | Vortex | ** | +10,95 | ** |

Tablodaki (-) işareti düşüşü, (+) işareti artışı göstermektedir.

**90 cN giriş gerginliğinde %100 pamuk vortex ipliklerin sürtünme katsayısı hesaplanamamıştır.

Tablo 4.20 incelendiğinde 90 cN giriş gerginliğinde %50/50 pamuk/Tencel- %100 Tencel vortex iplikler arasındaki iplik-seramik sürtünme katsayısı değerleri arasındaki fark haricinde diğer farkların maksimum %5 civarında olduğu görülmektedir. Bütün giriş gerginlikleri ve bütün eğirme teknolojileri için %100 pamuk ve %50/50 pamuk/Tencel iplik-seramik sürtünme katsayısı değerleri arasındaki fark ise oldukça az olup en yüksek değer %2,44'tür. Ayrıca karışıma eklenen Tencel lifi ile birlikte iplik-seramik sürtünme katsayılarında artış gözlenmektedir.

Hammaddeler açısından iplik-seramik sürtünme katsayıları arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olup olmadığı Tablo 4.21'de bulunan ikili karşılaştırma sonuçlarında görülmektedir.

Tablo 4.21 Farklı giriş gerginliklerinde farklı hammaddeler açısından iplik-seramik sürtünmesi için ikili karşılaştırma tablosu

| 15 cN | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RİNG | Hammadde | p | KOMPAKT | Hammadde | p | VORTEX | Hammadde | p |
| | Pamuk-%50/50 P/T | 0,897 | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,728 | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,299 |
| | %50/50 P/T- Tencel | 0,009* | | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* | | %50/50 P/T- Tencel | 0,001* |
| | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,000* |
| **60 cN** | | | | | | | | |
| RİNG | Hammadde | p | KOMPAKT | Hammadde | p | VORTEX | Hammadde | p |
| | Pamuk-%50/50 P/T | 0,866 | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,031* | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,041* |
| | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* | | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* | | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* |
| | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,000* |
| **90 cN** | | | | | | | | |
| RİNG | Hammadde | p | KOMPAKT | Hammadde | p | VORTEX | Hammadde | p |
| | Pamuk-%50/50 P/T | 0,933 | | Pamuk-%50/50 P/T | 0,221 | | Pamuk-%50/50 P/T | ** |
| | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* | | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* | | %50/50 P/T- Tencel | 0,000* |
| | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | 0,000* | | Pamuk-Tencel | ** |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

* * 90 cN giriş gerginliğinde %100 pamuk vortex ipliklerin sürtünmesi ölçülememiştir.

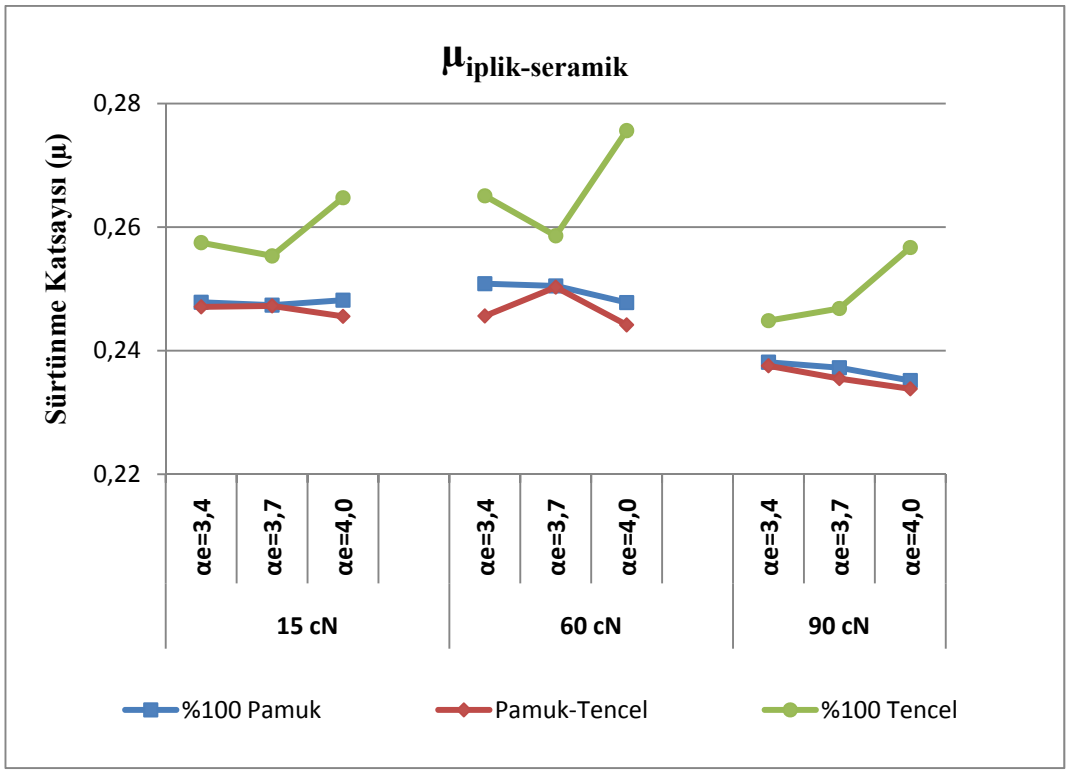
Tablo 4.21 incelendiğinde 15 cN giriş gerginliğinde üç eğirme teknolojisi için de %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel ipliklerinin iplik-seramik sürtünme katsayıları arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olmadığı görülmektedir ($p>0,05$).15 cN giriş gerginliğinde diğer farklar istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur. 60 cN giriş gerginliğinde %100 pamuk ve %50/50 pamuk/Tencel ring ipliklerin iplik-seramik sürtünme katsayıları arasındaki farklar da istatistiksel açıdan önemli değilken, bu giriş gerginliğinde diğer farklar istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. 90 cN giriş gerginliğinde ise ring %100 pamuk ve %50/50 pamuk/Tencel ve kompakt %100 pamuk ve %50/50 pamuk/Tencel ipliklerin

iplik-seramik sürtünme katsayıları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

### *4.1.6 İplik-Seramik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Büküm Katsayısının Etkisi*

İplik-seramik sürtünmesi ölçüm sonuçlarına büküm katsayısının etkisini incelemek amacıyla istatistiksel değerlendirmede %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel $\alpha_e$=3,4, $\alpha_e$=3,7 ve $\alpha_e$=4,0 büküm katsayısına sahip toplam 9 tip ring ipliğine ait sonuçlar dikkate alınmıştır.

Şekil 4.7'de farklı giriş gerginliklerinde ring ipliklerinin iplik-seramik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçlarının büküm katsayısına göre değişimi görülmektedir.




Şekil 4.7 Farklı büküm katsayısına sahip ring ipliklerin iplik-seramik sürtünme katsayıları

Şekil 4.7 incelendiğinde %100 pamuk ve %50-50 pamuk Tencel ipliklerin iplik-seramik sürtünme katsayılarının 0,23 ile 0,25 arasında değiştiği, % 100 Tencel ipliklerin sürtünme katsayısının ise daha geniş bir aralıkta (0,24-0,28) değiştiği görülmektedir. Ayrıca 15 cN ve 90 cN giriş gerginliği için %50/50 pamuk/Tencel ve

%100 Tencel ipliklerinin iplik-seramik sürtünme katsayısı değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Farklı büküm katsayılarına sahip ring ipliklerinin iplik-seramik sürtünme katsayıları arasındaki fark Tablo 4.22'de daha net görülmektedir.

Tablo 4.22 Farklı büküm katsayılarına sahip ring ipliklerinin iplik-seramik sürtünme katsayısı değişimi

| **Giriş Gerginliği** | **Hammadde** | **İplik-seramik sürtünme katsayısı değişimi(%)** | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $\alpha_{e3,4} - \alpha_{e3,7}$ | $\alpha_{e3,7} - \alpha_{e4,0}$ | $\alpha_{e3,4} - \alpha_{e4,0}$ |
| **2,5 cN** | %100 Pamuk | -0,2 | +0,3 | +0,1 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | +0,1 | -0,7 | -0,6 |
| | %100 Tencel | -0,8 | +3,6 | +2,7 |
| **10 cN** | %100 Pamuk | -0,1 | -1,1 | -1,2 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | +1,9 | -2,5 | -0,6 |
| | %100 Tencel | -2,5 | +6,2 | +3,8 |
| **15 cN** | %100 Pamuk | -0,4 | -0,9 | -1,3 |
| | %50-50 Pamuk/Tencel | -0,9 | -0,7 | -1,6 |
| | %100 Tencel | +0,8 | +3,8 | +4,6 |

*Tablodaki (-) işareti düşüşü, (+) işareti artışı göstermektedir.

Tablo 4.22 incelendiğinde bütün giriş gerginlikleri için farklı büküm katsayılarına sahip %100 pamuk ring ipliklerinin iplik-seramik sürtünme katsayıları arasındaki fark oldukça düşük olduğu görülmektedir (maksimum değer %1,3). Bütün giriş gerginlikleri için en yüksek farkların ise %100 Tencel ipliklerinde olduğu görülmektedir. Diğer hammaddeler için belirlenen farklar %50/50 pamuk/Tencel iplikleri için %2,5 , %100 Tencel iplikleri için % 6,2'yi geçmemektedir. Tencel ipliklerinin iplik-seramik sürtünme katsayıları arasındaki farkın diğer hammaddelere oranla daha yüksek olmasının sebebi ise daha önceden de belirtildiği gibi %100 Tencel iplikleri için gerçekleşen büküm değerlerinin hedeflenen büküm değerlerinden farklı olması şeklinde açıklanabilir. Tablo 4.23'te farklı büküm katsayılarına sahip ring ipliklerinin iplik-iplik sürtünme katsayısı üzerinde bağımsız

değişkenlerin etkisini göstermek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları görülmektedir.

Tablo 4.23 Farklı büküm katsayılarına sahip ring ipliklerinin iplik-seramik sürtünmesi varyans analizi sonuçları

| **Varyasyon Kaynağı** | **F** | **p** |
|---|---|---|
| Büküm katsayısı | 31,8426 | 0,000* |
| Hammadde | 1276,95 | 0,000* |
| Giriş gerginliği | 924,317 | 0,000 |
| Büküm katsayısı*Hammadde | 119,82 | 0,000* |
| Büküm katsayısı*Giriş gerginliği | 0,28318 | 0,888 |
| Hammadde*Giriş gerginliği | 23,6988 | 0,000* |
| Büküm katsayısı*Hammadde*Giriş gerginliği | 11,3738 | 0,000* |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

Büküm katsayısı dikkate alındığında incelenen tüm bağımsız değişkenlerin ring ipliklerinin iplik-seramik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi %95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemlidir. Büküm katsayısı*giriş gerginliği etkileşimi iplik-seramik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli değildir (Tablo 4.23).

Tipler arası farkların daha ayrıntılı olarak değerlendirilmesi için yapılan ikili karşılaştırma sonuçları Tablo 4.24'te görülmektedir. Tablo 4.24'e göre $\alpha_e$=3,4 ve $\alpha_e$=4,0 büküm katsayısına sahip % 50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel ring ipliklerinin iplik-seramik sürtünme katsayıları arasındaki farkın bütün giriş gerginliklerinde istatistiksel açıdan önemli olduğu görülmektedir. Bunun yanında %100 Tencel ring ipliklerinde $\alpha_e$=3,4 ve $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip ipliklerin iplik-seramik sürtünme katsayıları arasındaki fark 15 cN ve 60 cN giriş gerginliğinde istatistiksel olarak anlamlı iken, 90 cN giriş gerginliğinde anlamlı değildir. Bunun nedeni giriş gerginliğinin 90 cN gibi yüksek değerlere çıkması sonucu, iplikten çıkan lif uçlarının yüzeye yapışması ile yüzey pürüzlülüğünün azalması olabilir.

Tablo 4.24 Farklı büküm katsayılarına sahip ring ipliklerin iplik-seramik sürtünmesi için ikili karşılaştırma tablosu

| **15 cN** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **%100 PAMUK** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **PAMUK/TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **%100 TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** |
| | 3,4-3,7 | 0,413 | | 3,4-3,7 | 0,819 | | 3,4-3,7 | 0,024* |
| | 3,7-4,0 | 0,170 | | 3,7-4,0 | 0,025* | | 3,7-4,0 | 0,000* |
| | 3,4-4,0 | 0,552 | | 3,4-4,0 | 0,039* | | 3,4-4,0 | 0,000* |
| **60 cN** | | | | | | | | |
| **%100 PAMUK** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **PAMUK/TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **%100 TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** |
| | 3,4-3,7 | 0,667 | | 3,4-3,7 | 0,000* | | 3,4-3,7 | 0,007* |
| | 3,7-4,0 | 0,002* | | 3,7-4,0 | 0,001* | | 3,7-4,0 | 0,000* |
| | 3,4-4,0 | 0,005* | | 3,4-4,0 | 0,005* | | 3,4-4,0 | 0,000* |
| **90 cN** | | | | | | | | |
| **%100 PAMUK** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **PAMUK/TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** | **%100 TENCEL** | **Büküm Kat. ($\alpha_e$)** | **p** |
| | 3,4-3,7 | 0,097 | | 3,4-3,7 | 0,681 | | 3,4-3,7 | 0,210 |
| | 3,7-4,0 | 0,001* | | 3,7-4,0 | 0,000* | | 3,7-4,0 | 0,000* |
| | 3,4-4,0 | 0,000* | | 3,4-4,0 | 0,000* | | 3,4-4,0 | 0,000* |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

## 4.2 İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarının Test Koşulları Açısından Değerlendirilmesi

İplik sürtünmesi ölçüm sonuçlarının test koşulları açısından değerlendirilmesi sırasında iki farklı özellik dikkate alınmıştır. Bunlar farklı giriş gerginlikleri ve farklı sürtünme yüzeyidir.

İplik sürtünmesi ölçüm sonuçlarına sürtünme yüzeyinin etkisini görebilmek amacıyla tüm sürtünme yüzeylerinde ortak olan 15 cN giriş gerginliğindeki iplik-iplik, iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayısı sonuçları dikkate alınmıştır. Bunun dışında metal ve seramik yüzeylerde ortak olan 60 cN ve 90 cN giriş

gerginliği değerleri için yapılan karşılaştırmalarda iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayısı sonuçları değerlendirilmiştir.

İplik sürtünmesi ölçüm sonuçlarına giriş gerginliğinin etkisini incelemek için ise farklı giriş gerginliklerindeki iplik-iplik (2,5 cN-10 cN-15 cN), iplik-metal (15 cN, 60 cN, 90 cN) ve iplik- seramik (15 cN, 60 cN, 90 cN) sürtünme katsayısı sonuçları incelenmiştir.

Deneysel çalışmanın bu bölümünde yapılan istatistiksel değerlendirmelerde ring, kompakt, vortex eğirme teknolojisinde $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip olan %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel toplam dokuz tip ipliğe ait ölçüm sonuçları dikkate alınmıştır.

### *4.2.1. İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Giriş Gerginliğinin Etkisi*

#### *4.2.1.1 İplik-İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Giriş Gerginliğinin Etkisi*

Deneysel çalışmada farklı giriş gerginliklerinin sürtünme katsayıları üzerinde etkisini görebilmek amacıyla iplik-iplik sürtünmesi testleri 2,5 cN, 10 cN ve 15 cN giriş gerginliğinde gerçekleştirilmiştir.

İplik-iplik sürtünmesine giriş gerginliğinin etkisini görebilmek amacıyla yapılan istatistiksel değerlendirmede üç farklı giriş gerginliğindeki iplik-iplik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları dikkate alınmıştır.

En yüksek iplik-iplik sürtünme katsayısı değerleri 2,5 cN giriş gerginliğinde elde edilirken, en düşük iplik-iplik sürtünme katsayısı değeri 15 cN'da elde edilmiştir. Bütün giriş gerginlikleri için iplik-iplik sürtünme katsayısı değişiminde benzer bir eğilimin olduğu gözlenmektedir. Tablo 4.25'te farklı giriş gerginliklerinde elde edilen iplik-iplik sürtünme katsayıları arasındaki değişim görülmektedir.

Tablo 4.25'te de görüldüğü gibi giriş gerginliği 2,5 cN'dan 10 cN'a çıkarıldığında bütün iplikler için iplik-iplik sürtünme katsayısının yaklaşık %30 oranında; 10 cN'dan 15 cN' çıkarıldığında %4 -13 oranında; 2,5 cN'dan 15 cN'a çıkarıldığında ise %37-48 oranında azaldığı görülmektedir. Bu durum iplik-iplik sürtünmesi testleri sırasında ipliklerin daha yüksek giriş gerginliklerinde yassılması ve yüzeylerinin

düzleşmesi sonucu birbiri üzerinden daha kolay geçmesi ile açıklanabilir. Artan giriş gerginliği ile birlikte ipliklerin iplik-iplik sürtünme katsayısı azalmaktadır. Ancak iplik mukavemeti ve iplik-iplik sürtünmesinde oluşan yüksek *çıkış gerginliği/giriş gerginliği* oranı dikkate alınırsa, iplik-iplik sürtünmesi testlerinin kopuş olmadan gerçekleştirilebileceği ve ipliklerin dayanabileceği maksimum giriş gerginliğine dikkat edilmesi gerekmektedir.

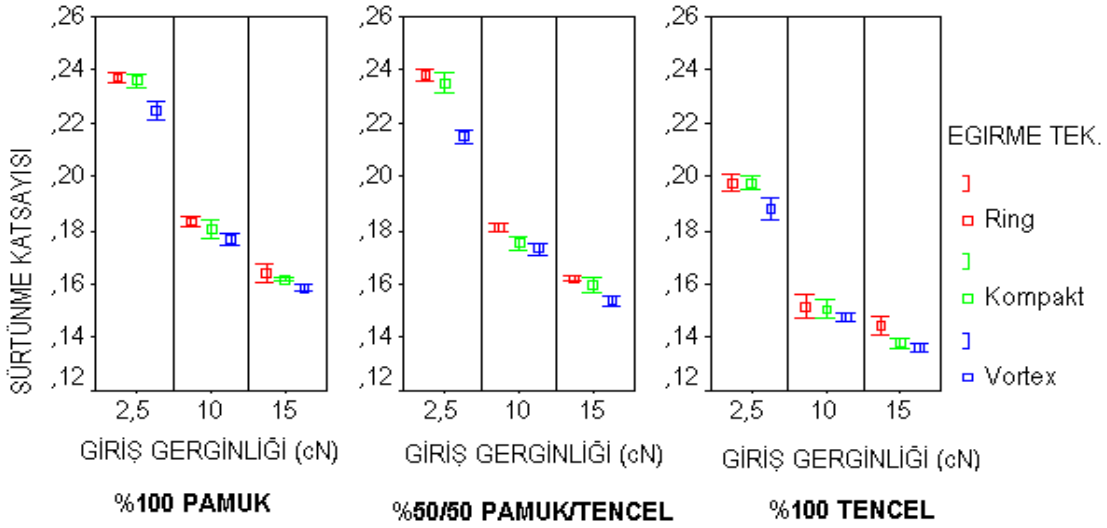
Tablo 4.25 Farklı giriş gerginliklerinde iplik-iplik sürtünme katsayı değişimi (%)

| **Hammadde** | **Eğirme Tek.** | **İplik-iplik sürtünme katsayısı değişimi (%)** | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **2,5 cN-10 cN** | **10 cN-15 cN** | **2,5 cN-15 cN** |
| **%100 PAMUK** | **Ring** | -29,2 | -12,0 | -44,7 |
| | **Kompakt** | -30,9 | -11,6 | -46,1 |
| | **Vortex** | -27,3 | -11,4 | -41,9 |
| **PAMUK-TENCEL** | **Ring** | -31,3 | -12,1 | -47,2 |
| | **Kompakt** | -34,1 | -9,9 | -47,4 |
| | **Vortex** | -24,3 | -12,6 | -39,9 |
| **%100 TENCEL** | **Ring** | -30,6 | -10,0 | -43,6 |
| | **Kompakt** | -31,4 | -4,2 | -36,9 |
| | **Vortex** | -27,5 | -8,5 | -38,3 |

Tablodaki (-) işareti azalışı göstermektedir.

Giriş gerginliği ve diğer bağımsız değişkenlerin (hammadde, eğirme tek.) iplik-iplik sürtünme katsayısı üzerinde etkisini görmek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçlarına göre bütün değişkenlerin ve etkileşimlerinin iplik-iplik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,05$) bulunmuştur.

Şekil 4.8'de giriş gerginliğinin iplik-iplik sürtünme katsayısına etkisini gösteren güven aralığı grafikleri bulunmaktadır.




Şekil 4.8 2,5 cN, 10 cN, 15 cN giriş gerginliğinde iplik-iplik sürtünme katsayıları

Şekil 4.8 incelendiğinde aynı hammadde ve aynı eğirme teknolojisine sahip ipliklerin farklı giriş gerginliklerinde iplik-iplik sürtünme katsayıları arasındaki farkın istatistiksel açıdan anlamlı olduğu görülmektedir.

*4.2.1.2 İplik-Metal Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Giriş Gerginliğinin Etkisi*

İplik-metal sürtünmesi testleri 15 cN, 60 cN ve 90 cN olmak üzere toplam üç farklı giriş gerginliğinde gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen tüm değerler incelendiğinde, en yüksek iplik-metal sürtünme katsayısı değerlerinin 15 cN giriş gerginliğinde, bunun yanında 60 cN ve 90 cN giriş gerginliklerinde elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Tablo 4.26'da farklı giriş gerginliklerinde elde edilen iplik-iplik sürtünme katsayıları arasındaki değişim verilmektedir.

Tablo 4.26 Farklı giriş gerginliklerinde iplik-metal sürtünme katsayı değişimi (%)

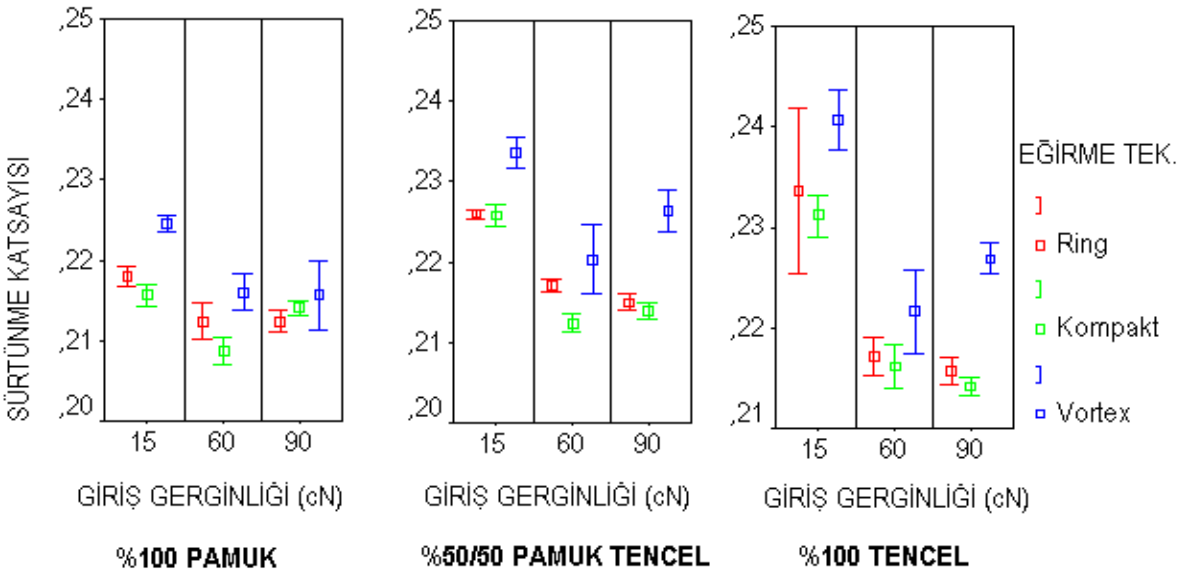
| Hammadde | Eğirme Tek. | İplik-metal sürtünme katsayısı değişimi (%) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 15 cN-60 cN | 60 cN-90 cN | 15 cN-90 cN |
| %100 PAMUK | Ring | -2,6 | 0,0 | -2,6 |
| | Kompakt | -3,3 | +0,9 | -2,4 |
| | Vortex | -3,9 | -0,2 | -4,2 |
| PAMUK-TENCEL | Ring | -4,1 | -0,9 | -5,1 |
| | Kompakt | -6,3 | +0,7 | -5,6 |
| | Vortex | -6,0 | +2,6 | -3,2 |
| %100 TENCEL | Ring | -7,6 | -0,6 | -8,3 |
| | Kompakt | -6,9 | -1,0 | -8,0 |
| | Vortex | -8,5 | +2,3 | -6,1 |

Tablodaki (-) işareti azalışı, (+) işareti artışı göstermektedir.

Tablo 4.26'da da görüldüğü gibi en yüksek sürtünme katsayısı değerleri 15 cN giriş gerginliğinde elde edilmiş olup 60 cN giriş gerginliğinde elde edilen değerlerle aralarındaki fark %3-8 aralığındadır. Tabloda 60 cN giriş gerginliğinde elde edilen iplik-metal sürtünme katsayısı değerleri ile 90 cN giriş gerginliğinde elde edilen değerlerin birbirine oldukça yakın olması dikkat çekmektedir. %100 pamuk ring ipliklerinde bu değer % 0,02'ye kadar inmektedir.

Farklı giriş gerginliğinin iplik-metal sürtünme katsayısına etkisini incelemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçlarında tüm bağımsız değişkenlerin (giriş gerginliği, hammadde ve eğirme tek.) ve etkileşimlerinin iplik-metal sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ancak Tablo 4.26'dan da görüldüğü gibi özellikle 60 cN ve 90 cN giriş gerginliğinde elde edilen iplik-metal sürtünme katsayısı değerleri çok yakındır. Yapılan ikili karşılaştırma sonuçlarına göre 60 cN ve 90 cN giriş gerginliğindeki sürtünme katsayıları arasındaki farkların bir kısmı istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Şekil 4.9'da giriş gerginliğinin iplik-iplik sürtünme katsayısına etkisini gösteren güven aralığı grafikleri bulunmaktadır.




Şekil 4.9 15 cN, 60 cN, 90 cN giriş gerginliğinde iplik-metal sürtünme katsayıları

Şekil 4.9'da aynı hammaddeye ve aynı eğirme teknolojisine sahip ipliklerin farklı giriş gerginliklerinde iplik-metal sürtünme katsayısı değişimi görülmektedir. Şekil 4.9'da da görüldüğü gibi %100 pamuk ring ipliklerinin ve %100 pamuk vortex ipliklerinin 60 cN ve 90 cN giriş gerginliğinde elde edilen sürtünme katsayıları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. %50/50 pamuk/Tencel ipliklerine bakıldığında ise bu fark istatistiksel açıdan önemlidir. Ayrıca %50/50 pamuk/Tencel vortex ipliklerin 90 cN giriş gerginliğinde elde edilen sürtünme katsayısı değerleri 60 cN giriş gerginliğinde elde edilen değerlerden daha yüksektir. Aynı durum %100 Tencel ipliklerinde de geçerlidir.

*4.2.1.3 İplik-Seramik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Giriş Gerginliğinin Etkisi*

İplik-seramik sürtünmesi testleri iplik-metal sürtünmesi testlerinde olduğu gibi 15 cN, 60 cN ve 90 cN olmak üzere üç farklı giriş gerginliğinde gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en düşük iplik-seramik sürtünme katsayısı değerlerinin çoğunlukla 90 cN giriş gerginliğinde olduğu görülmüştür. Ayrıca 15 cN ve 60 cN giriş gerginliklerinde elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Tablo 4.27'de farklı giriş gerginlikleri için iplik-seramik sürtünme katsayıları arasındaki değişim verilmektedir.

Tablo 4.27 Farklı giriş gerginliklerinde iplik-seramik sürtünme katsayı değişimi (%)

| Hammadde | Eğirme Tek. | İplik-seramik sürtünme katsayısı değişimi (%) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 15 cN-60 cN | 60 cN-90 cN | 15 cN-90 cN |
| %100 PAMUK | Ring | +1,2 | -5,6 | -4,3 |
| | Kompakt | +0,2 | -5,0 | -4,7 |
| | Vortex | -0,3 | * | |
| PAMUK-TENCEL | Ring | +1,2 | -6,3 | -5,0 |
| | Kompakt | -0,8 | -3,2 | -4,0 |
| | Vortex | +1,7 | -5,2 | -3,4 |
| %100 TENCEL | Ring | +1,3 | -4,8 | -3,5 |
| | Kompakt | +3,0 | -5,6 | -2,5 |
| | Vortex | +1,6 | +4,7 | +6,2 |

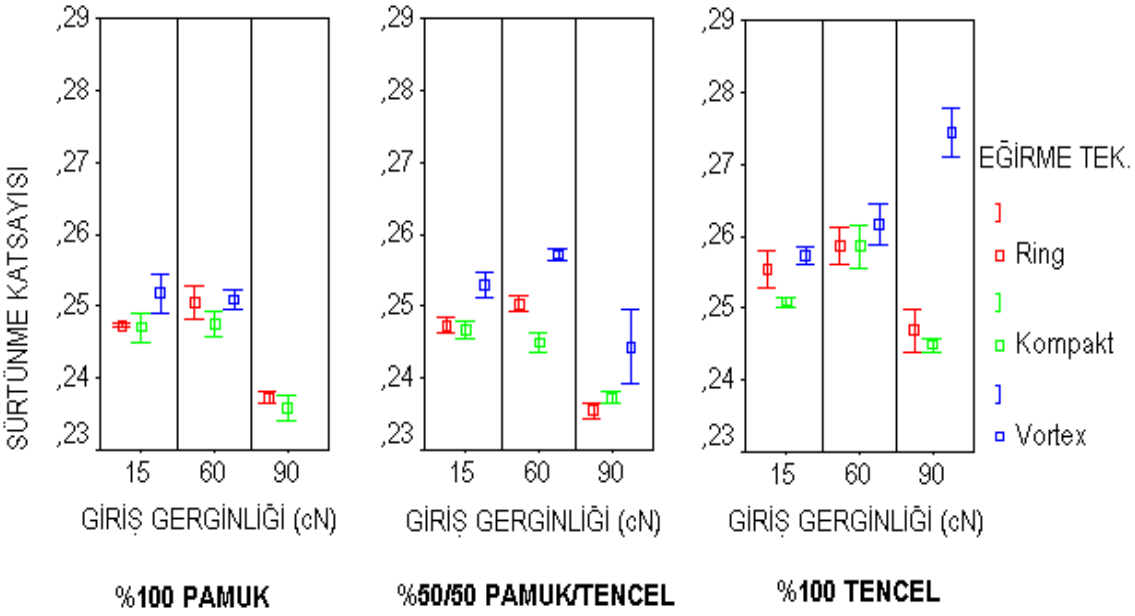
Tablodaki (-) işareti azalışı, (+) işareti artışı göstermektedir.

*%100 pamuk vortex ipliklerin 90 cN giriş gerginliğinde iplik-seramik sürtünmesi ölçülememiştir.

Tablo 4.27'de 90 cN giriş gerginliğinde elde edilen iplik- seramik sürtünme katsayısı değerleri ile 15 cN giriş gerginliğinde elde edilen değerler arasında %4-5 fark olduğu görülmektedir. Aynı durum 60 cN giriş gerginliğinde elde edilen değerler ile 90 cN giriş gerginliğinde elde edilen değerler arasında da geçerlidir. Çünkü 15 cN ve 60 cN giriş gerginliklerindeki iplik-seramik sürtünme katsayıları arasındaki fark birbirine oldukça yakındır. %100 pamuk kompakt ipliklerinde bu fark %0,2'ye kadar inmektedir.

İstatistiksel analiz amacıyla yapılan varyans analizi sonuçlarına göre giriş gerginliği ve diğer bağımsız değişkenlerin (hammadde, eğirme tek.) ve etkileşimlerinin iplik-seramik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$).

Şekil 4.10'da aynı hammadde ve aynı eğirme teknolojisine sahip ipliklerin 15 cN, 60 cN ve 90 cN giriş gerginliğinde elde edilen iplik-seramik sürtünme katsayısı değerleri görülmektedir.




Şekil 4.10 15 cN, 60 cN, 90 cN giriş gerginliğinde iplik-seramik sürtünme katsayıları

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi %100 pamuk kompakt iplikleri ve %100 pamuk vortex ipliklerinin 15 cN ve 60 cN giriş gerginliğinde elde edilen iplik-seramik sürtünme katsayıları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bunun haricinde tüm hammaddeler için ring ve kompakt ipliklerin 90 cN giriş gerginliğinde elde edilen sürtünme katsayısı değerleri en düşüktür. Yalnızca %100 Tencel vortex ipliklerin 90 cN giriş gerginliğinde elde edilen iplik-seramik sürtünme katsayısı değerleri 15 cN ve 60 cN giriş gerginliğinde elde edilen değerlerden daha yüksektir.

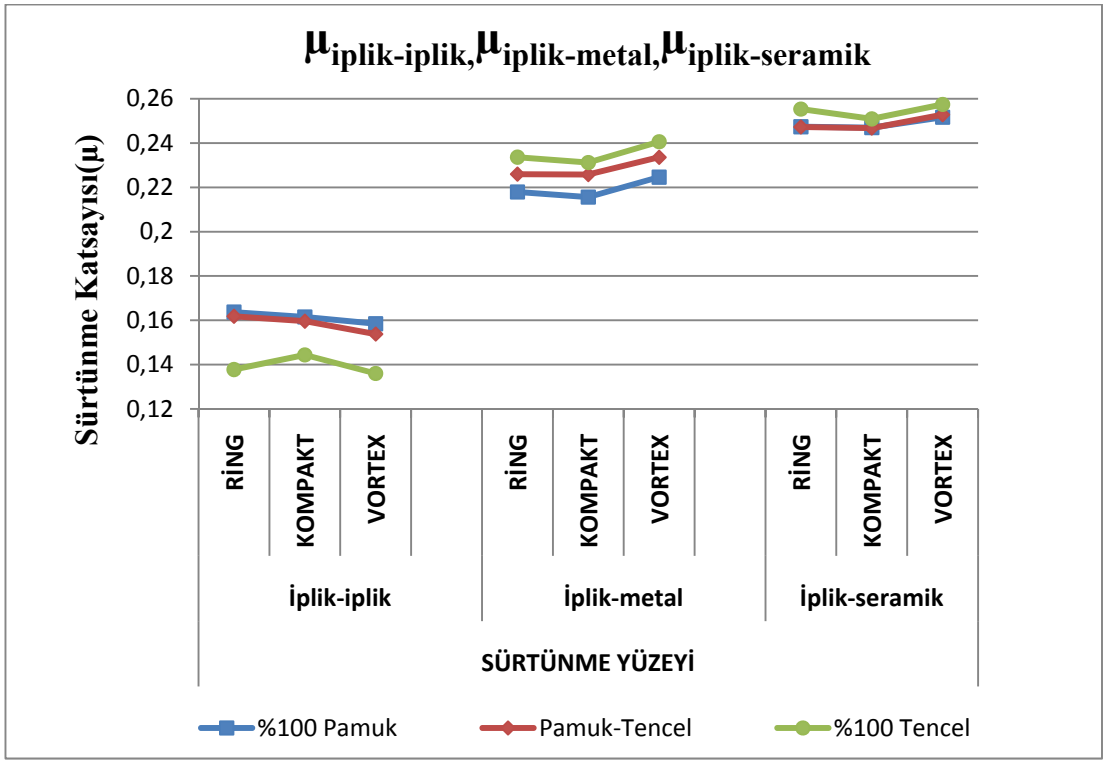
### *4.2.2 İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Sürtünme Yüzeyinin Etkisi*

Bu bölümde sürtünme yüzeyinin etkisi farklı giriş gerginlikleri esas alınarak incelenmektedir.

*4.2.2.1 15 cN Giriş Gerginliğinde İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Sürtünme Yüzeyinin Etkisi*

15 cN giriş gerginliği bütün sürtünme yüzeylerinde ortaktır. Bu nedenle 15 cN giriş gerginliğinde üç farklı sürtünme yüzeyi açısından değerlendirme yapılabilmiştir.

Şekil 4.11'de 15 cN giriş gerginliğinde iplik-iplik, iplik-metal ve iplik-seramik sürtünmesi ölçüm sonuçlarının hammadde ve eğirme teknolojisine göre değişimi verilmektedir.




Şekil 4.11 15 cN giriş gerginliği için $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip ipliklerin iplik-iplik, iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayıları

Şekil 4.11'den de görüldüğü gibi 15 cN giriş gerginliğindeki iplik sürtünmesi ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında araştırmada kullanılan eğirme teknolojileri ve hammaddeler için en yüksek değerler iplik-seramik sürtünme katsayısı değerleri iken, en düşük değerler iplik-iplik sürtünme katsayısı değerleridir. Elde edilen farkları daha iyi incelemek amacıyla oluşturulan yüzde değişim değerleri Tablo 4.28'de görülmektedir.

Tablo 4.28 15 cN giriş gerginliğinde sürtünme yüzeylerine göre iplik sürtünme katsayısı değişimi (%)

| Hammadde | Eğirme Tek. | İplik sürtünme katsayısı değişimi (%) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | İplik-iplik-İplik-metal | İplik-iplik-İplik-seramik | İplik-metal-İplik-seramik |
| %100 PAMUK | Ring | +24,9 | +33,8 | +11,9 |
| | Kompakt | +25,1 | +34,6 | +12,7 |
| | Vortex | +29,5 | +37,0 | +10,8 |
| PAMUK-TENCEL | Ring | +28,4 | +34,6 | +8,6 |
| | Kompakt | +29,3 | +35,3 | +8,5 |
| | Vortex | +34,2 | +39,2 | +7,6 |
| %100 TENCEL | Ring | +41,0 | +46,0 | +8,5 |
| | Kompakt | +37,6 | +42,5 | +7,9 |
| | Vortex | +43,5 | +47,2 | +6,5 |

Tablodaki (+) işareti artışı göstermektedir.

Tablo 4.28 incelendiğinde Şekil 4.11'de de görüldüğü gibi en yüksek iplik sürtünme katsayısı değerleri iplik-seramik sürtünmesinde görülmektedir. İplik-iplik ve iplik-seramik sürtünmesi arasındaki fark yaklaşık %50, iplik-metal ve iplik-seramik sürtünmesi arasındaki fark ise yaklaşık %10 civarındadır. Seramik yüzeylerin kullanım amacı dikkate alındığında iplik-seramik sürtünme katsayısı değerlerinin de iplik-metal sürtünme katsayısı değerleri gibi düşük çıkması beklenmektedir. Sürtünme yüzeyinin özellikleri ölçüm sonuçlarını etkileyen en önemli faktörlerdendir. Araştırmada kullanılan ipliklerin sistematik olarak üretilmiş olduğu ve tüm testlerin aynı koşullarda yapıldığı göz önüne alındığında tüm tipler için iplik-seramik sürtünme katsayısının iplik-metal sürtünme katsayısından daha yüksek çıkması sürtünme yüzeylerinin özelliklerinin de incelenmesini gerektirmiştir. Bu nedenle D.E.Ü Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Triboloji Laboratuvarı'nda bulunan Ambios XP-2 yüksek çözünürlüklü yüzey profilmetresi kullanılarak 2µm ölçüm ucu ile iplik sürtünmesi test cihazında kullanılan metal ve seramik sürtünme yüzeylerinin pürüzlülük değerleri ölçülmüştür.

Elde edilen Ra (ortalama pürüzlülük) değerlerine göre sürtünme test cihazında kullanılan seramik yüzey daha pürüzlüdür. (Seramik yüzey için Ra: 0,580 μm , Metal yüzey için Ra: 0,083 μm) Bu da iplik-seramik sürtünme katsayısının iplik-metal sürtünme katsayısından daha yüksek çıkmasına sebep olmaktadır.

Tablo 4.29'da 15 cN giriş gerginliğinde sürtünme yüzeylerinin ve diğer bağımsız değişkenlerin sürtünme katsayısı üzerinde etkisini göstermek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları görülmektedir.

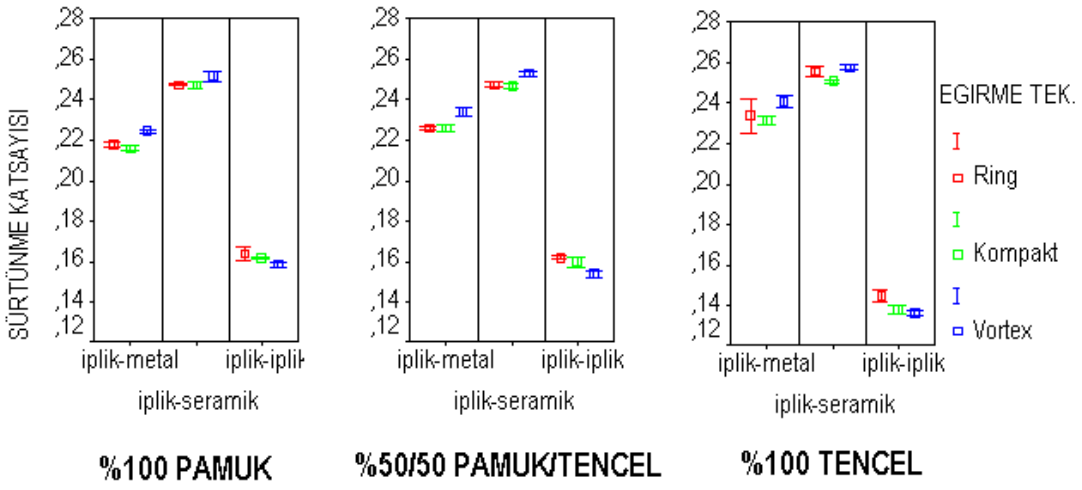
Tablo 4.29 15 cN giriş gerginliğinde iplik-iplik, iplik-metal, iplik-seramik sürtünmesi varyans analizi sonuçları

| **Varyasyon Kaynağı** | **F** | **p** |
|---|---|---|
| Hammadde | 18,728 | 0,000* |
| Eğirme Teknolojisi | 40,029 | 0,000* |
| Sürtünme Yüzeyi | 30325,143 | 0,000* |
| Hammadde*Eğirme teknolojisi | 3,484 | 0,010* |
| Hammadde*Sürtünme yüzeyi | 406,280 | 0,000* |
| Eğirme tek.*Sürtünme yüzeyi | 64,006 | 0,000* |
| Hammadde*Eğirme tek.*Sürtünme yüzeyi | 0,989 | 0,448 |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

Tablo 4.29'da görüldüğü gibi bu bölümde incelenen tüm bağımsız değişkenlerin (hammadde, eğirme teknolojisi, sürtünme yüzeyi) iplik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi %95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemlidir. Yalnızca hammadde*eğirme teknolojisi*sürtünme yüzeyi etkileşimi istatistiksel açıdan önemli değildir. Aynı hammaddeye ve aynı üretim teknolojisine sahip ipliklerin sürtünme katsayısına sürtünme yüzeyinin etkisini görmek amacıyla yapılan ikili karşılaştırmaların tamamında da farklı sürtünme yüzeylerine ait sürtünme katsayıları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur.

Şekil 4.12'de %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel ipliklerin sürtünme yüzeyinin iplik sürtünme katsayısına etkisini gösteren güven aralığı grafikleri bulunmaktadır.



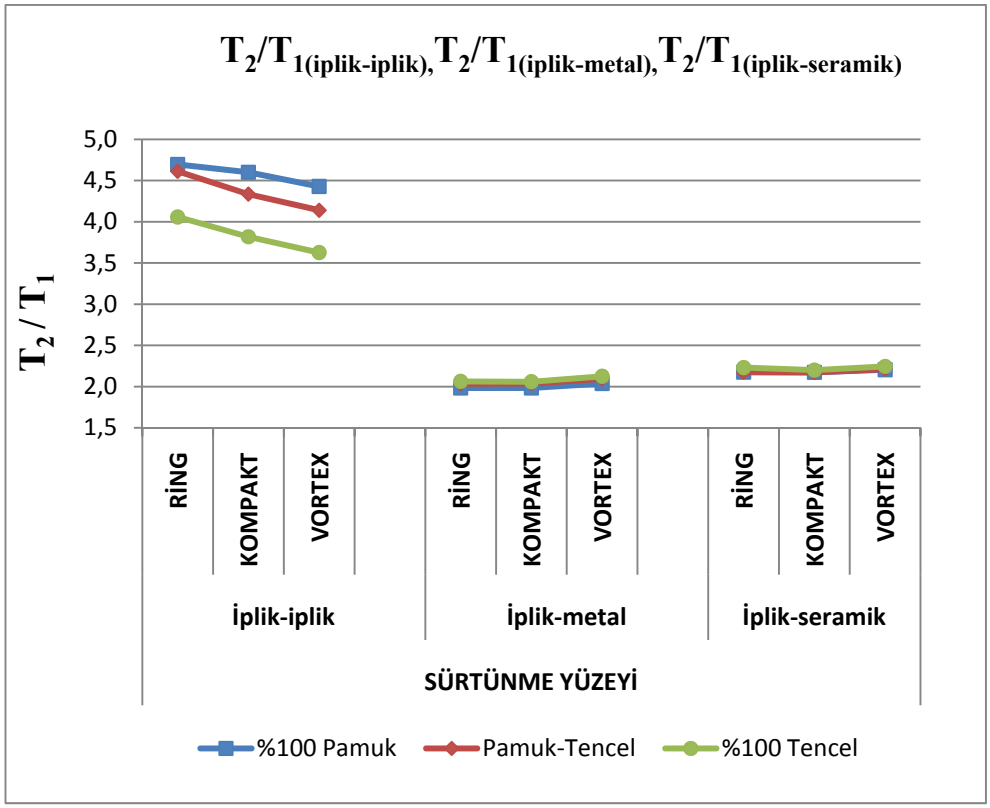

Şekil 4.12 15 cN giriş gerginliğinde iplik-iplik, iplik-metal, iplik-seramik sürtünme katsayıları

Şekil 4.12'den görüldüğü gibi aynı hammaddeye ve aynı eğirme teknolojisine sahip ipliklerin iplik-iplik, iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayısı değerleri arasındaki fark % 95 güven seviyesi için istatistiksel açıdan önemlidir.

İplik sürtünme katsayısına sürtünme yüzeylerinin etkisi incelerken çıkış gerginliğinin giriş gerginliğine oranı da önem kazanmaktadır. Bunun nedeni ise iplik-iplik sürtünme katsayısını hesaplarken kullanılan ve tezin materyal-metot bölümünde verilen formülün iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayısını hesaplarken kullanılan ortak formülden farklı olmasıdır.

Bu nedenle tüm sürtünme yüzeylerinde ortak olan 15 cN giriş gerginliğinde çıkış *gerginliği($T_2$) / giriş gerginliği($T_1$)* oranı için de bir karşılaştırma yapılması düşünülmüştür.

Şekil 4.13'te 15 cN giriş gerginliğinde araştırmada kullanılan hammadde ve eğirme teknolojileri için *çıkış gerginliği($T_2$) / giriş gerginliği($T_1$)* oranının iplik, metal ve seramik yüzeylere göre değişimi verilmektedir.




Şekil 4.13 15 cN giriş gerginliği için $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip ipliklerin iplik-iplik, iplik-metal ve iplik-seramik çıkış gerginliği($T_2$) / giriş gerginliği($T_1$) oranları

Şekil 4.13 incelendiğinde sürtünme katsayısı grafiğinin aksine iplik-iplik sürtünmesine ait (çıkış gerginliği/giriş gerginliği) oranının en yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. İplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayıları aynı formülle hesaplandığı için çıkış gerginliği/giriş gerginliği oranlarında da sürtünme katsayısında olduğu gibi iplik-seramik sürtünmesine ait değerler iplik-metal sürtünmesine ait değerlerden daha yüksektir. %100 pamuk ring ipliklerinde iplik-iplik yüzeyinde gerçekleşen (çıkış gerginliği/giriş gerginliği) oranı, iplik-metal yüzeyinde gerçekleşen oranın yaklaşık 2,5 katıdır. Bu durum 15 cN giriş gerginliğinde en yüksek çıkış gerginliğinin iplik-iplik sürtünmesi testlerinde elde edildiğini göstermektedir.

Tablo 4.30'da 15 cN giriş gerginliğinde sürtünme yüzeylerinin ve diğer bağımsız değişkenlerin (hammadde, eğirme tek.) sürtünme katsayısı üzerinde etkisini göstermek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları görülmektedir.

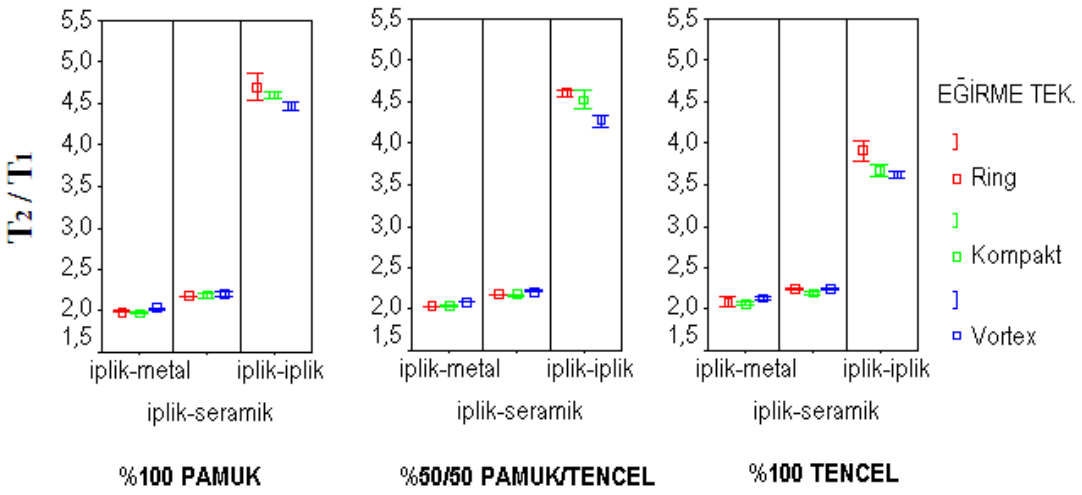
Tablo 4.30 15 cN giriş gerginliğinde iplik, metal ve seramik yüzeylerdeki (çıkış gerginliği/giriş gerginliği) varyans analizi sonuçları

| **Varyasyon Kaynağı** | **F** | **p** |
|---|---|---|
| Hammadde | 421,652 | 0,000* |
| Eğirme Teknolojisi | 35,734 | 0,000* |
| Sürtünme Yüzeyi | 37211,598 | 0,000* |
| Hammadde*Eğirme teknolojisi | 3,638 | 0,008* |
| Hammadde*Sürtünme yüzeyi | 664,951 | 0,000* |
| Eğirme tek.*Sürtünme yüzeyi | 70,843 | 0,000* |
| Hammadde*Eğirme tek.*Sürtünme yüzeyi | 2,492 | 0,016* |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

Tablo 4.30'da incelenen tüm bağımsız değişkenlerin ve etkileşimlerinin farklı sürtünme yüzeylerine ait (çıkış gerginliği/giriş gerginliği) oranı üzerindeki etkisi %95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemlidir. Yapılan ikili karşılaştırmaların tamamında da sürtünme yüzeyleri arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur.

Şekil 4.14'te %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel ipliklerin sürtünme yüzeyinin ($T_2$/ $T_1$) oranına etkisini gösteren güven aralığı grafikleri bulunmaktadır.




4.14 15 cN giriş gerginliğinde iplik, metal ve seramik yüzeylerdeki ($T_2$/$T_1$) oranları

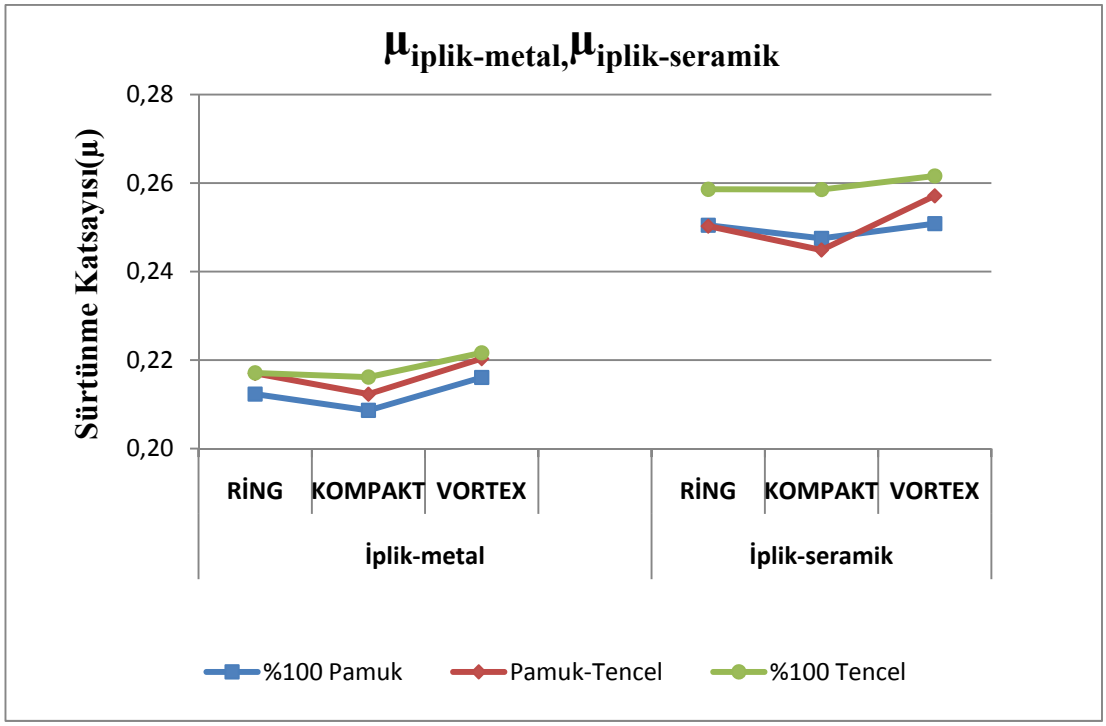
Şekil 4.14'te de görüldüğü gibi iplik-metal ve iplik-seramik sürtünmesi için ($T_2/T_1$) oranları 2- 2,5 aralığında değişirken iplik-iplik sürtünmesi için ($T_2/T_1$) oranları 4-5 aralığında değişmektedir. Güven aralığı grafiklerinden en yüksek değişime sahip olan değerlerin %100 pamuk ipliklerin iplik-iplik sürtünmesi için elde edilen ($T_2/T_1$) oranları olduğu anlaşılmaktadır.

İplik-iplik sürtünme testlerinde (çıkış gerginliği/giriş gerginliği) oranının yüksek olmasının sebebi bu testte ipliklerin kendi üzerinde dönmesi sonucunda daha fazla sürtünmeye maruz kalması ve daha fazla zorlanması olarak düşünülmektedir.

*4.2.2.2 60 cN Giriş Gerginliğinde İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Sürtünme Yüzeyinin Etkisi*

60 cN giriş gerginliğinde iplik-metal ve iplik seramik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları analiz edilmiştir.

Şekil 4.15'de 60 cN giriş gerginliğine ait iplik-metal ve iplik-seramik sürtünmesi ölçüm sonuçlarının hammadde ve eğirme teknolojisine göre değişimi verilmektedir. 15 cN giriş gerginliğinde elde edilen sürtünme katsayılarında olduğu gibi 60 cN giriş gerginliğinde araştırmada kullanılan hammaddeler ve eğirme teknolojileri için iplik-seramik sürtünme katsayısı değerleri iplik-metal sürtünme katsayısı değerlerinden daha yüksektir. Bunun yanı sıra aynı sürtünme yüzeyi için elde edilen sürtünme katsayısı değerleri birbirine yakındır. İplik-metal sürtünme katsayısı değerleri 0,22-0,24 aralığında değişirken; iplik-seramik sürtünme katsayısı değerleri 0,24-0,26 aralığında değişmektedir.




Şekil 4.15 60 cN giriş gerginliği için $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip ipliklerin iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayıları

Tablo 4.31'de farklı sürtünme yüzeyleri için iplik sürtünme katsayısındaki yüzde değişim görülmektedir. Tablo 28'deki değerlere bakıldığında iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayıları arasındaki farkın %13-17 aralığında olduğu görülmektedir.

Tablo 4.31 60 cN giriş gerginliğinde sürtünme yüzeylerine göre iplik sürtünme katsayısı değişimi (%)

| Hammadde | Eğirme Tek. | Sürtünme katsayısı değişimi (%) |
|---|---|---|
| | | İplik- metal - İplik-seramik |
| %100 PAMUK | Ring | +15,2 |
| | Kompakt | +15,7 |
| | Vortex | +13,9 |
| PAMUK-TENCEL | Ring | +13,3 |
| | Kompakt | +13,3 |
| | Vortex | +14,3 |
| %100 TENCEL | Ring | +16,0 |
| | Kompakt | +16,4 |
| | Vortex | +15,3 |

Tablodaki (+) işareti artışı göstermektedir.

Tablo 4.32'de 60 cN giriş gerginliğinde sürtünme yüzeylerinin ve diğer bağımsız değişkenlerin sürtünme katsayısı üzerinde etkisini incelemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları verilmektedir.

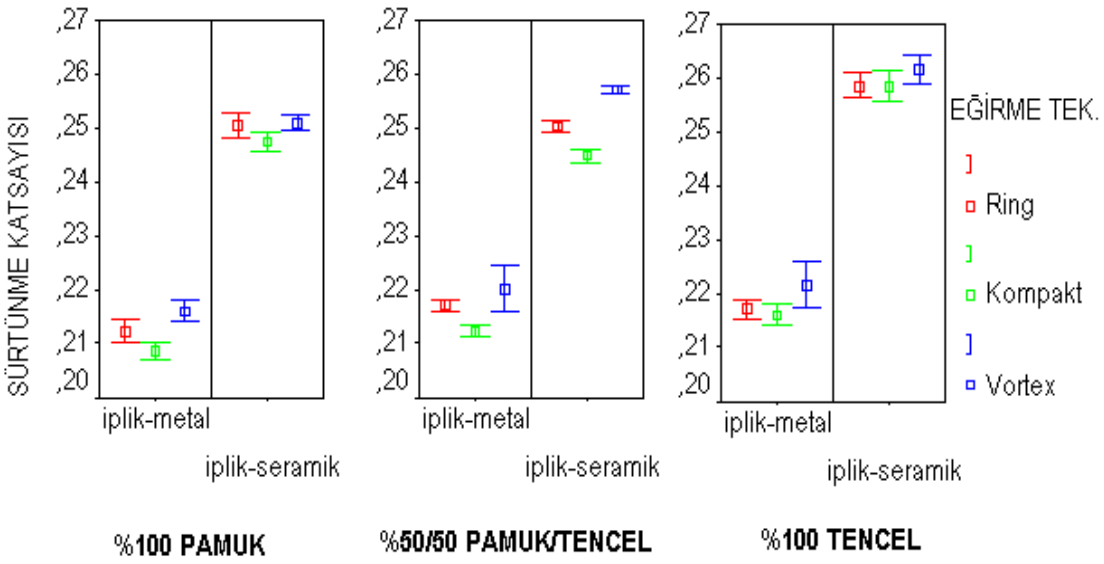
Tablo 4.32 60 cN giriş gerginliğinde iplik-metal, iplik-seramik sürtünmesi varyans analizi sonuçları

| Varyasyon Kaynağı | F | p |
|---|---|---|
| Hammadde | 18,728 | 0,000* |
| Eğirme Teknolojisi | 40,029 | 0,000* |
| Sürtünme Yüzeyi | 30325,143 | 0,000* |
| Hammadde*Eğirme teknolojisi | 3,484 | 0,008* |
| Hammadde*Sürtünme yüzeyi | 406,280 | 0,000* |
| Eğirme tek.*Sürtünme yüzeyi | 64,006 | 0,715 |
| Hammadde*Eğirme tek.*Sürtünme yüzeyi | 0,989 | 0,005* |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

Tablo 4.32'de görüldüğü gibi bu bölümde incelenen tüm bağımsız değişkenlerin (hammadde, eğirme teknolojisi ve sürtünme yüzeyi) iplik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi %95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemlidir. Yalnızca hammadde*eğirme teknolojisi*sürtünme yüzeyi etkileşimi istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Aynı hammadde ve aynı eğirme teknolojisine sahip iplikler için yapılan ikili karşılaştırmaların tamamında da iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayıları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur.

Şekil 4.13'te %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel ipliklerin sürtünme yüzeyinin iplik sürtünme katsayısına etkisini gösteren güven aralığı grafikleri bulunmaktadır.



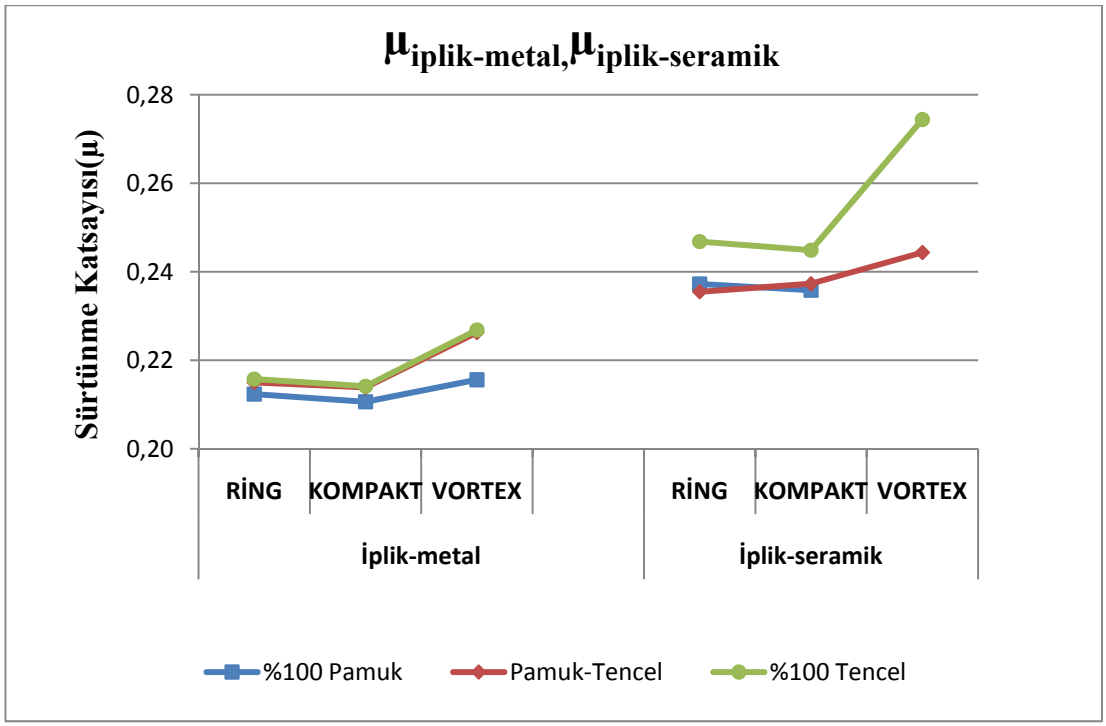

Şekil 4.16 60cN giriş gerginliğinde iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayıları

Şekil 4.16'dan görüldüğü gibi araştırmada kullanılan hammadde ve eğirme teknolojilerinin tamamında iplik-metal ve iplik seramik sürtünme katsayıları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlıdır.

*4.2.2.3 90 cN Giriş Gerginliğinde İplik Sürtünmesi Ölçüm Sonuçlarına Sürtünme Yüzeyinin Etkisi*

Bu bölümde 90 cN giriş gerginliğinde iplik-metal ve iplik seramik sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları analiz edilmiştir.

Şekil 4.17'de 90 cN giriş gerginliğine ait iplik-metal ve iplik-seramik sürtünmesi ölçüm sonuçlarının hammadde ve eğirme teknolojisine göre değişimi verilmektedir.




Şekil 4.17 90 cN giriş gerginliği için gerginlikleri için $\alpha_e$=3,7 büküm katsayısına sahip ipliklerin iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayıları

Şekil 4.17'de görüldüğü gibi 90 cN giriş gerginliğinde araştırmada kullanılan hammaddeler ve eğirme teknolojileri için diğer giriş gerginliği değerlerinde için olduğu gibi iplik-seramik sürtünme katsayısı değerleri iplik-metal sürtünme katsayısı değerlerinden daha yüksektir. İplik-metal sürtünme katsayısı değerleri 0,20-0,23 aralığında değişirken; iplik-seramik sürtünme katsayısı değerleri 0,23-0,28 aralığında değişmektedir.

Tablo 4.33'te bu giriş gerginliğinde farklı sürtünme yüzeyleri için iplik sürtünme katsayısındaki yüzdesel değişim görülmektedir.

Tablo 4.33 90 cN giriş gerginliğinde sürtünme yüzeylerine göre iplik sürtünme katsayısı değişimi (%)

| Hammadde | Eğirme Tek. | Sürtünme katsayısı değişimi (%) |
|---|---|---|
| | | İplik- metal - İplik-seramik |
| %100 PAMUK | Ring | +10,5 |
| | Kompakt | +10,7 |
| | Vortex | * |
| PAMUK-TENCEL | Ring | +8,7 |
| | Kompakt | +9,9 |
| | Vortex | +7,4 |
| %100 TENCEL | Ring | +12,6 |
| | Kompakt | +12,6 |
| | Vortex | +17,3 |

Tablodaki (+) işareti artışı göstermektedir.

*90 cN giriş gerginliğinde %100 pamuk vortex ipliklerinin iplik-seramik sürtünmesi ölçülememiştir.

Tablo 4.33 incelendiğinde 90 cN giriş gerginliği için iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayıları arasındaki farkın %7-17 aralığında olduğu görülmektedir. %50/50 pamuk/Tencel vortex ipliklerin seramik sürtünmesi ile metal sürtünmesi arasındaki farkın %7,4 olması, bunun yanında %100 Tencel vortex ipliklerde bu değerin %17,3 olması dikkat çekmektedir.

90 cN giriş gerginliğinde sürtünme yüzeylerinin ve diğer bağımsız değişkenlerin (hammadde, eğirme tek.) sürtünme katsayısı üzerinde etkisini göstermek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 4.34'te görülmektedir.

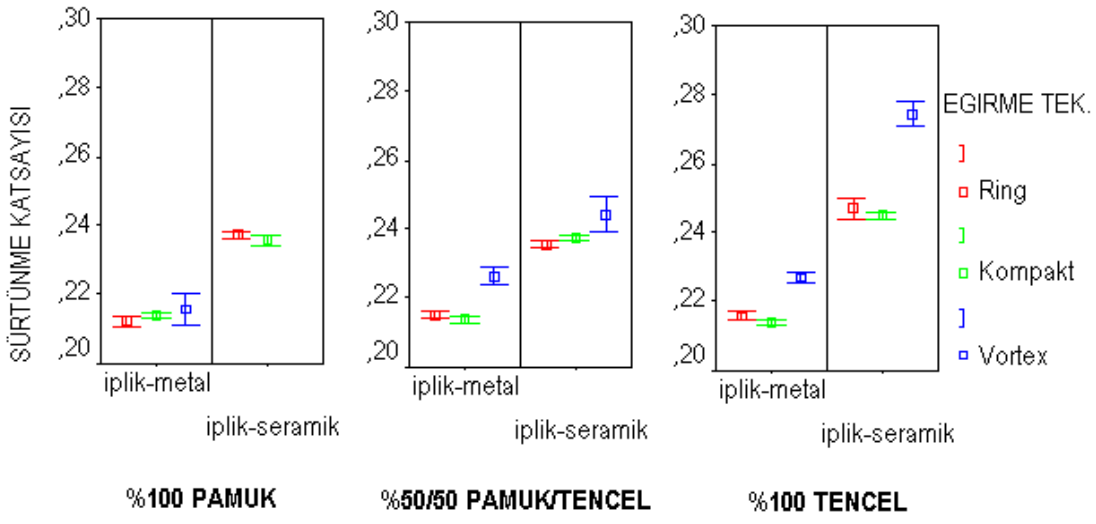
Tablo 4.34 90 cN giriş gerginliğinde iplik-metal, iplik-seramik sürtünmesi varyans analizi sonuçları

| **Varyasyon Kaynağı** | **F** | **p** |
|---|---|---|
| Hammadde | 222,901 | 0,000* |
| Eğirme Teknolojisi | 354,818 | 0,000* |
| Sürtünme Yüzeyi | 4254,019 | 0,000* |
| Hammadde*Eğirme teknolojisi | 42,102 | 0,000* |
| Hammadde*Sürtünme yüzeyi | 142,451 | 0,000* |
| Eğirme tek.*Sürtünme yüzeyi | 20,007 | 0,000* |
| Hammadde*Eğirme tek.*Sürtünme yüzeyi | 36,769 | 0,000* |

* % 95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli

Tablo 4.34'te görüldüğü gibi bu bölümde incelenen tüm bağımsız değişkenlerin farklı sürtünme yüzeylerine ait iplik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi %95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemlidir. Yapılan ikili karşılaştırmalarda da araştırmalarda incelenen tipler açısından metal ve seramik sürtünme yüzeylerine ait sürtünme katsayıları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur.

Şekil 4.18'de sürtünme yüzeyinin iplik sürtünme katsayısına etkisini gösteren güven aralığı grafikleri bulunmaktadır.




Şekil 4.18 90cN giriş gerginliğinde iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayıları

Şekil 4.18’deki güven aralığı grafiklerinden aynı hammadde ve aynı eğirme teknolojisine sahip ipliklerin tamamında iplik-metal ve iplik seramik sürtünme katsayıları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı olduğu görülmektedir.

# BÖLÜM BEŞ

# SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında farklı eğirme teknolojilerine (ring, kompakt, vortex), farklı hammaddelere (%100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel, %100 Tencel) ve farklı büküm katsayılarına (ring iplikleri için $\alpha_e$=3,4, $\alpha_e$=3,7, $\alpha_e$=4,0) sahip ipliklerin farklı giriş gerginliklerinde iplik-metal, iplik- iplik ve iplik seramik sürtünme katsayıları belirlenmiştir. Böylece hem iplik yapısal özelliklerinin hem de test koşullarının iplik sürtünmesi üzerine etkisi araştırılmıştır.

Araştırma kapsamında yapılan çalışmaların tamamı değerlendirildiğinde ulaşılan sonuçlar ve bu sonuçlar aracılığıyla yapılan öneriler aşağıda özetlenmektedir:

1. İplik yapısal özelliklerinden biri olan hammaddenin iplik sürtünme katsayısına etkisi incelendiğinde karışıma rejenere selüloz lifi olan Tencel lifinin eklenmesiyle bütün giriş gerginlikleri için iplik-iplik sürtünme katsayısı düşerken, iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayıları artmaktadır. İplik-iplik sürtünme katsayısının düşüşüne Tencel lifinin dairesel enine kesiti ve pürüzsüz yüzeyi sebep olabilir. Ancak iplik-materyal sürtünmesindeki artış dikkate alındığında, bu durumu açıklamak için başka özelliklerin bilinmesi gerektiği düşünülmüştür. Karışıma Tencel lifinin eklenmesiyle birlikte özellikle iplik tüylülüğünde artış olması ihtimali bununla birlikte ipliğin metal ve seramik yüzey ile teması sırasında oluşan asperitlerin sayısının artması ve gerçek temas alanının artması ile sürtünme katsayısının artması söz konusu olabilir.

2. Diğer bir iplik yapısal özelliği olan eğirme teknolojisinin iplik sürtünme katsayısına etkisi incelendiğinde araştırmada kullanılan bütün hammaddeler ve bütün giriş gerginlikleri için en düşük iplik-iplik sürtünme katsayısı değerleri vortex ipliklerinde, en yüksek iplik-iplik sürtünme katsayısı değerleri

ring ipliklerine aittir. İplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayısı sonuçlarına eğirme teknolojisinin etkisi incelendiğinde ise en yüksek sürtünme katsayısının vortex ipliklerde, en düşük sürtünme katsayısı değerlerinin genellikle kompakt ipliklerinde olduğu gözlenmiştir. Vortex ipliklerde bulunan kemer liflerinin sürtünme yüzeyleri ile etkileşimi sonucunda iplik-materyal sürtünmesinin arttığı düşünülmektedir. Ayrıca araştırmada kullanılan bütün giriş gerginliği değerleri, bütün sürtünme yüzeyleri ve bütün hammaddeler için ring ve kompakt ipliklerinin sürtünme katsayıları birbirine oldukça yakındır. Bunun nedeni ise ring ve kompakt ipliklerin yüzey özelliklerinin birbirine daha yakın olması olabilir.

3. İplik sürtünmesi test sonuçlarına iplik büküm katsayısının etkisi incelendiğinde bütün giriş gerginliklerinde iplik-iplik sürtünmesi testlerinde %100 pamuk, %50/50 pamuk/Tencel ve %100 Tencel ring ipliklerin en yüksek sürtünme katsayısı $\alpha_e$=4,0 büküm katsayısına sahip ipliklerde görülmüştür. İplik-metal ve iplik seramik sürtünme katsayısı sonuçları değerlendirildiğinde ise büküm seviyesine bağlı sistematik bir değişim görülmemiştir. Bazı araştırmacılar (Chattopadhyay ve Banerjee, 1996) büküm katsayısının artmasıyla birlikte yüzey alanı azalacağı için sürtünme katsayısının düşeceğini belirtirken bazı araştırmacılar (Kalyanaraman,1988 ve Subramaniam ve Natarajan, 1990) sürtünme testi gerçekleştirilen yüzeyin pürüzlülüğünün de büküm katsayısı değerlendirmelerinde son derece etkili olduğunu ve bükümün artmasıyla birlikte kılavuz yüzeyinin pürüzleri ile olan temasın artabileceğini ve bunun da sürtünme katsayısını arttırabileceğini belirtmişlerdir. Elde edilen bu sonuç burada belirtilen ikinci bakış açısı ile uyum göstermektedir.

4. Büküm katsayısının iplik sürtünme özelliklerine etkisini daha iyi ve ayrıntılı olarak açıklamak için büküm katsayısı açısından daha yüksek değişim aralığına sahip ipliklerle çalışmak uygun olabilir. Ancak burada ipliklerin kullanım alanı ve kritik büküm seviyesinin göz ardı edilmemesi uygun olacaktır.

5. Eğirme teknolojisi ve hammaddenin iplik sürtünme katsayısına etkisi birlikte değerlendirildiğinde bütün giriş gerginlikleri için iplik-iplik sürtünme katsayısı değerlerinin en düşük olduğu iplikler %100 Tencel vortex ipliklerdir. İplik-materyal sürtünme katsayısında ise %100 Tencel vortex iplikler en yüksek sürtünme katsayısı değerlerine sahiptir.

6. İplik sürtünmesine test koşullarının etkisini incelemek amacıyla sürtünme testleri farklı sürtünme yüzeyleri ile farklı giriş gerginliklerinde gerçekleştirilmiştir. İplik-iplik sürtünmesi için 2,5 cN, 10 cN ve 15 cN giriş gerginliği kullanılırken, iplik-materyal sürtünmesi için 15 cN, 60 cN ve 90 cN giriş gerginliği kullanılmıştır. İplik-iplik sürtünmesi test sonuçları giriş gerginlikleri açısından karşılaştırıldığında en yüksek sürtünme katsayısı değerleri 2,5 cN giriş gerginliği için elde edilirken en düşük sürtünme katsayısı değerleri 15 cN giriş gerginliği için elde edilmiştir. İplik-iplik sürtünme katsayısı değerleri 2,5 cN giriş gerginliği için 0,18-0,25; 10 cN giriş gerginliği için 0,15-0,19 ve 15 cN giriş gerginliği için 0,13- 0,17 aralığında değişmektedir. Bu değerler ışığında giriş gerginliğinin artmasıyla birlikte iplik-iplik sürtünme katsayısı değerlerinde düşüş olduğu açıkça görülmektedir. Bunun nedeni yüksek giriş gerginliği ile birlikte iplik yapısından çıkan lif uçlarının lif yüzeyine yapışmasıyla birlikte düzleşmenin artmasıdır. Böylece daha düz yüzeye sahip ipliklerin ilerlemesi daha kolay olacak ve sürtünme katsayısı düşecektir.

7. Giriş gerginliğinin iplik-metal sürtünmesine etkisi incelendiğinde en yüksek sürtünme katsayısı değerleri bu sürtünme yüzeyi için en düşük giriş gerginliği olan 15 cN giriş gerginliği için elde edilmiştir. 60 cN ve 90 cN giriş gerginliğinde elde edilen değerler birbirine oldukça yakındır. İplik-metal sürtünme katsayısı değerleri 15 cN giriş gerginliğinde 0,21-0,24 aralığında, 60 cN giriş gerginliğinde 0,20-0,23 aralığında, 90 cN giriş gerginliğinde ise yine 0,20-0,23 aralığında değişmektedir. Düşük giriş gerginliklerinde iplik-metal sürtünme katsayısının arttığı 15 cN giriş gerginliğinde elde edilen sonuçlara göre netlik kazanmış olsa da 60 cN ve 90 cN giriş gerginliğinde elde edilen iplik-metal sürtünme katsayısı değerlerinin birbirine oldukça yakın olması

sebebiyle iplik-metal sürtünmesi için bu çalışmada kullanılmayan ve farklı giriş gerginlikleri için sürtünme katsayısındaki değişimi görmek yararlı olacaktır. Ancak, burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ipliklerin sahip olduğu mukavemet ve uzama özellikleridir. Sürtünme testleri sonucunda oluşacak çıkış gerginliği değerinin iplik mukavemetini aşmaması gerektiğinden giriş gerginliği belirli bir noktaya kadar arttırılabilmektedir.

8. Giriş gerginliğinin iplik-seramik sürtünmesine etkisi incelendiğinde ise en düşük sürtünme katsayısı değerlerinin çoğunlukla 90 cN giriş gerginliğinde elde edilen değerler olduğu görülmüştür. Yalnızca %100 Tencel vortex ipliklerin 90 cN giriş gerginliğinde iplik-seramik sürtünme katsayısı diğer bütün değerlerden daha yüksek ($\mu$=0,2744) çıkmıştır. Test tekrarlandığında da sonuç değişmemiştir. Bu farklılığın iplikte düzgünsüzlüğe neden olan bir hatadan kaynaklandığı düşünülmektedir. İplik-seramik sürtünme katsayısı değerleri 15 cN giriş gerginliğinde 0,24-0,26 aralığında, 60 cN giriş gerginliğinde 0,24-0,27 aralığında, 90 cN giriş gerginliğinde ise yine 0,23-0,25 aralığında değişmektedir (%100 Tencel vortex iplikleri hariç). İplik-iplik ve iplik-metal sürtünmesinde olduğu gibi burada da giriş gerginliği arttıkça sürtünmenin azaldığı görülmüştür. Literatür incelendiğinde de giriş gerginliğinin artmasıyla birlikte iplik sürtünmesinin azaldığı sonucuna ulaşıldığı görülmüştür.

9. Sürtünme yüzeyleri açısından bir değerlendirme yapmak için öncelikle bütün sürtünme yüzeyleri için ortak olan 15 cN giriş gerginliğinde yapılırsa en yüksek sürtünme katsayısının iplik-seramik sürtünme katsayısı, en düşük sürtünme katsayısının iplik-iplik sürtünme katsayısı olduğu görülmektedir. Aslında burada doğrudan bir karşılaştırma yapmak uygun olmayacaktır çünkü iplik-metal ve iplik-seramik sürtünme katsayısı değerleri hesaplanırken ortak bir formül kullanılmakta ancak iplik-iplik sürtünme testleri farklı bir standart doğrultusunda gerçekleştirilmekte ve sürtünme katsayısı farklı bir formülle hesaplanmaktadır.

10. Giriş gerginliği ve çıkış gerginliği değerleri incelendiğinde, gerçekte iplik-iplik sürtünme testleri sırasında kaydedilen çıkış gerginliği değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir ancak hesaplamada kullanılan formül ile sürtünme katsayısı iplik-metal ve iplik-seramikten düşük çıkmaktadır. Bu nedenle bütün sürtünme yüzeyleri için ortak olan 15 cN giriş gerginliği için $T_2/T_1$ (çıkış gerginliği/giriş gerginliği) oranı hesaplanarak ortak bir değerlendirmenin yapılabileceği düşünülmüştür. En yüksek ($T_2/T_1$) değerleri (3,50-5,00 aralığında) iplik-iplik sürtünmesi için, en düşük ($T_2/T_1$) değerleri (1,95-2,00 aralığında) iplik-metal sürtünmesi için bulunmuştur. İplik-seramik sürtünmesinde ise ($T_2/T_1$) oranı iplik-metal sürtünmesindeki değere yakın olup, 2,00-2,40 aralığında değişmektedir.

11. 60 cN ve 90 cN giriş gerginliği için sonuçlar değerlendirildiğinde ise 15 cN giriş gerginliği için olduğu gibi iplik-seramik sürtünme katsayısı değerleri iplik-metal sürtünme katsayısı değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Seramik yüzeylerin iplik sürtünmesini minimuma indirmek amacıyla kullanıldığı göz önünde bulundurulursa araştırma kapsamında elde edilen sonuçlar uygulamadaki ile çelişkili olmaktadır. Önceki çalışmalar incelendiğinde Zunic-Lojen ve Gersak'ın yaptığı çalışmada da iplik-seramik sürtünme katsayısı değerlerinin iplik-metal (çelik) sürtünme katsayısı değerlerinden daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu duruma açıklık getirmek için cihazda kullanılan metal ve seramik yüzeylere pürüzlülük testi yapılmıştır. Test sonuçlarına göre seramik yüzeyin pürüzlülüğü metal yüzeyden daha yüksek çıkmıştır. Uygulama ile paralel çalışmalar gerçekleştirilebilmek için deneysel çalışmada kullanılan iplik sürtünme test cihazında üretim işlemleri sırasında kullanılan seramik ve metal yüzeylere eş değer yüzeyler kullanması pratikte de kullanılabilecek daha yararlı veriler sağlayabilir.

12. 90 cN giriş gerginliğinde %100 pamuk vortex ipliklerin iplik-seramik sürtünme testleri iplikte meydana gelen kopuşlardan dolayı gerçekleştirilememiştir. Bu iplikte iplik-seramik sürtünme testlerinde 90 cN giriş gerginliğinin neden olduğu çıkış gerginliğinin iplik mukavemetinden daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Çünkü bu çalışmada kullanılan

ipliklerin kopma mukavemeti değerleri incelendiğinde diğer tiplerin kopma mukavemeti değerlerinin genellikle 300gf civarında olduğu ancak %100 pamuk vortex ipliklerin diğer ipliklere nazaran 264,60 gf olan kopma mukavemeti değeri ile daha düşük mukavemete sahip olduğu görülmüştür. İpliğin yapısal ve mekanik özelliklerinin iplik sürtünme kuvvetini doğrudan etkilediğini bu örnek de görmek mümkündür. Bu nedenle ileriye dönük araştırmalarda, burada denenen parametreler dışında farklı yapısal parametreler denenebileceği gibi özellikle ipliğin yapısal, fiziksel ve mekanik özellikleri ile iplik sürtünme özellikleri arasındaki ilişkiler çok yönlü olarak incelenmesi yararlı olacaktır..

13. Daha sonraki çalışmalarda, sürtünme katsayısı sonuçlarının daha sağlıklı karşılaştırılabilmesi için farklı sürtünme yüzeylerinde aynı ölçüm prensibi ile test yapılması denenebilir. Capstan yönteminin iplik-iplik sürtünmesi için kullanılmasıyla hem ortak formülün kullanılacağı, hem de iplik-iplik sürtünmesi testlerinin gerçeğe daha yakın olacağı düşünülebilir. Çünkü ipliklerin kumaş yapısı içerisinde birbirleriyle sürtünmeleri ve dikiş işlemi sırasında dikiş ipliği ile sürtünmeleri sırasında meydana gelen iplik-iplik sürtünmesi, bu çalışmada kullanılan ve ipliklerin temas anında belirli bir açıyla birbiri üzerine birkaç tur sarılmalarını içeren bükülmüş iplik yöntemine göre oldukça basit bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu konuda yapılacak yeni değerlendirmelerle ipliğin farklı sürtünme yüzeylerindeki davranışı farklı bir bakış açısıyla incelenebilir.

14. Karışıma eklenen Tencel lifi ile birlikte iplik-iplik sürtünmesi azalmakta, iplik-metal ve iplik-seramik sürtünmesi artmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar hakkında daha ayrıntılı bilgi edinmek için daha sonraki çalışmalarda pamuk ve Tencel liflerinin lif sürtünme davranışlarının incelenerek iplik sürtünme davranışları ile aralarındaki ilişkinin kurulması yararlı olacaktır.

**KAYNAKLAR**


Ajayi, J.O., Elder, H.M., (1994). Comparative Studies of Yarn and Fabric Friction. *Journal of Testing and Evaluation, 22(5), 463-467*

ASTM D 3108-01. *Standard Test Method for Coefficient of Friction, Yarn to Solid Material.*

ASTM D 3412-01 *Standard Test Method for Coefficient of Friction, Yarn to Yarn*

ASTM Digital Library, Types of Friction and Friction Testing, http://209.195.157.104/DOWNLOAD/MNL11351M.5416-1.pdf, Ağustos 2009

Bartlett, G.W., Smith, T.M., Thompson, H.A.,(1953). Frictional Properties of Filament Yarns and Staple Fibers as Determined by the Stick-Slip Method. *Textile Research Journal, 23(9), 647-656*

Basal, G.,(2003). PhD Thesis, The Structure and Properties of Vortex and Compact Spun Yarns. North Carolina State University

Başer, G., (2008). *Tekstil Mekaniğinin Temelleri.* İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi

Blau, P.J., (2009). *Friction Science and Technology (Second ed.)*. London, New York: CRC Press

Briscoe, B. J., Motamedi, F., (1990). Role of Interfacial Friction and Lubrication in Yarn and Fabric Mechanics. *Textile Research Journal, 60(12), 697-708*

Canbaz Karakaş, H., Parlar, Z., (2007). Tekstil Liflerinde Sürtünme. *Tekstil Teknoloji,12(133),*116-126

Chattopadhyay, R., Banerjee S., (1996). The Frictional Behaviour of Ring-, Rotor-, and Friction-spun Yarn. *Journal of Textile Institute, 87(1), 59-67*

Lawson Hemphill. *CTT İplik Sürtünmesi Test Cihazı Kullanım Kılavuzu*. Eylül, 2009

Dönmez, S., Marmaralı, A., (2004). A Model for Predicting a Yarn's Knittability. *Textile Research Journal. 74(12), 1049-1054*

Galuszynski, S., Ellis, P., (1983). Frictional Forces in the Heald Eye. *Textile Research Journal, 53(8), 462-468*

Ghosh, A, Patanaik A., Anandjiwala, R.D., Rengasamy, R.S., (2008).. A Study on Dynamic Friction of Different Spun Yarns. *Journal of Applied Polymer Science, 108, 3233-3238*

Graf., (b.t.). Friction Measuring Devices. (Ağustos 2009). http://www.graf-chemie.com/images/stories/technik/frictionmeasuringsystemcpf.pdf.html

Gupta, B. S., El Mogahzy, Y. E., (1989). The Effect of Hot-Wet Draw Ratio on the Coefficient of Friction of Wet-Spun Acrylic Yarns. *Journal of Applied Polymer Science, 38, 89-91.*

Gupta, B.S., (2008). *Friction in Textile Materials.* Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited.

Hansen, W.W, Tabor, D., (1957). Hydrodynamic Factors in the Friction of Fibers and Yarns. *Textile Research Journal, 27(4), 300-306*

Hong, J., (2000), PhD Thesis, Structure-Process- Property Relationships in Polyester Spun Yarns: The Role of Fiber Friction, *Georgia Institute of Technology*

Hong, J., Jayanaraman, S., (2003). *Friction in Textiles,* Textile Progress, Volume: 34, Number: 1/2 Oxford, UK : The Textile Institute.

Honigmann. (b.t.). Friction Measurement. (Ağustos, 2009) http://www.honigmann.com/k10/g73/i34&lang=2

Hyperphysics. (b.t.). *Friction.* (Ağustos,2009). http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html

Kalyanaraman A.R., Prakasam, R.(1987). A Method to Measure Static and Kinetic Friction of Yarns. *Textile Research Journal, 57(5), 307-309*

Kalyanaraman, A. R., (1988). Yarn-Friction Studies with the SITRA Friction-Measuring Device. *Journal of the Textile Institute, 79(1), 147-151*

Koo, Y., (2004). Yarn Tension Variation on the Needle During the Knitting Process. *Textile Research Journal,74(4), 314-317*

Koo, Y., Kim, H., (2002). Friction of Cotton Yarn in Relation to Fluff Formation on Circular Knitting Machines. *Textile Research Journal, 72(1), 17-20*

Kurbak A., (1990). İğne-İplik Sürtünmesi. *Tekstil ve Teknik, (67),* 78-83

Lang, J., Zhu, S., Pan, N., (2003). Frictional Behavior of Synthetic Yarns During Processing, *Textile Research Journal, 73(12), 1071-1078*

Lenzing.(b.t.). *Friction Tester.* (Ağustos,2009) http://www.lenzing-instruments.com/products/u-meter-friction-tester, Ağustos 2009

Lenzing. (b.t.). *Tencel.* (Şubat, 2010) http://www.tencel.at/index.php?id=38&L=1

Lindberg, J., Gralen, N., (1948), Measurement of Friction Between Single Fibers: II. Frictional Properties of Wool Fibers Measured by the Fiber-Twist Method. *Textile Research Journal ,18(5), 287-301*

Liu, L., Chen, J., Zhu, B., Yu, T.X., Tao, X.M., Cao, J., (2006).The yarn-to-yarn friction of woven fabrics. *Proceeding of the 9th International ESAFORM Conference on Material Forming,* Glasgow, UK, April 26-28

Marcicano, J.P.P., Tu, C.C., Rylander, H.G., (2004). Measurement of Transverse Yarn-on-solid Coefficient of Friction. *Journal of the Textile Institute, 95(1), 349-357*

Mesdan. (b.t.). *Attrifil II Yarn Friction Tester*. (Ağustos, 2009) http://www.mesdan.com/english/scheda_lab.php/linea/1/destinazione/22/applicazione/54/prodotto/52, Ağustos 2009

Morton, J.W.S., Hearle, W. E.,(2008). *Physical Properties of Textile Fibres (4th ed.).* Oxford, UK : The Textile Institute.

Okur, A., (2002). Kumaşların Sürtünme Davranışları Üzerine Bir Araştırma Bölüm I: Aynı Cins Kumaşlar Arasındaki Statik ve Kinetik Sürtünme Dirençlerinin İncelenmesi. *Tekstil Maraton, 12(59),* 47-57

Pastore, C.M., Kiekens, P., (2001). *Surface Characteristics of Fibers and Textiles.* USA: Mercel Dekker, Inc.

Rankumar, S.S., Shastri, L., Tock, R.W., Shelly, D.C., Smith, M. L., Padmanabhan, S., (2003). Experimental Study of the Frictional Properties of Friction Spun Yarns. *Journal of Applied Polymer Science, Vol: 88, 2450-2454*

Rothschild Instruments. (b.t.). F- Meter R-2088. (Ağustos, 2009). http://www.rothschild-instruments.ch/produkte/friction/friction_tech.html, Ağustos 2009

Saville, B.P., (1998). *Physical Testing of Textiles*. Manchester, UK: Woodhead Publishing Limited.

Scardino, F. L., Lyons, W. J., (1967). Fiber Surface Properties in Relation to Linear Assemblies During Processing 1. *Textile Research Journal, 37(11), 982-988*

Schick, M.J., (1973). Friction and Lubrication of Synthetic Fibers. *Textile Research Journal, 43(4), 198-204*

Schlatter, C., Demas, H. J., (1962). Friction Studies on Caprolan[1] Filament Yarn. *Textile Research Journal, 32(2), 87-98*

SDL Atlas. (b.t.). Y096_98 Friction Tester. (Ağustos, 2009) http://www.sdlatlas.com/Y096_098.pdf

Serway, R. A., (1992). *Physics For Scientists & Engineers with Modern Physics.* USA: Saunders College Publishing.

Stachowiak, G.W., Batchelor, A.W.,(1993). *Engineering Tribology.* Amsterdam: Elsevıer Scıence Publıshers

Subramaniam, V., Natarajan, K. S., (1990). Frictional Properties of Siro Spun Yarns. *Textile Research Journal, 60(4), 234-239*

Süleyman Demirel Üniversitesi. (b.t.). *Kinetik Sürtünme*. (Ocak, 2009). http://tef.sdu.edu.tr/korkmaze/dinamik/Kinetik_Surtunme.pdf

Svetnickienė, V., Čiukas, R., (2006). Technical and Classical Yarns Friction Properties Investigation. *Mechanika,4(60),54-58*

TÜBİTAK, (b.t.). *Dinamik ve Statik Sürtünme Kuvveti.* http://www.biltek.tubitak.gov.tr/merak_ettikleriniz/index.php?kategori_id=3&soru_id=3201, Ağustos 2009

Uster. (b.t.). Friction Tester. (Ağustos, 2009) http://www.uster.com/UI/textile-Zweigle-by-Uster-G-534-%C2%B5-Meter-2-3112.aspx

Vickers, A.D., Beale, D.G., Wang, Y.T., Adanur, S., (2000). Analyzing Yarn-to-Surface Friction with Data Acquisition and Digital Imaging Techniques. *Textile Research Journal, 70(1), 36-43*

Wang, X., Chang, L., (1999). An Experimental Study of the Effect of Test Speed on Yarn Hairiness. *Textile Research Journal, 69(1), 25-29*

WIRA Instrumentation. (b.t.). *Yarn Friction Meter.* (Ağustos, 2009). http://www.wira.com/PDF%20Pages/Fibres%20and%20Yarns/Yarn%20Friction.pdf

Zunic-Lojen, D., Gersak, J., (2003). Determination of the Sewing Thread Friction Coefficient. *International Journal of Clothing Science and Technology, Vol: 15, No: 3/4, 241-249*

Zurek, W., Frydrych, I., (1993). Comparative Analysis of Frictional Resistance of Wool Yarns. *Textile Research Journal, 63, 322-335*