

# İPLİKLERDE SÜRTÜNME ÖZELLİĞİ: ÖNEMİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Gonca BALCI, Vildan SÜLAR  
Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Tekstil yüzeylerinin sürtünme özellikleri üretim sürecini, meydana gelen ürünün özelliklerini ve kullanım performansını etkilemesi sebebiyle liften kumaşa bütün tekstil materyalleri için önemli bir özelliktir. İplikler, gerek üretim sürecinde gerekse kumaş yapısı içerisinde bunun yanı sıra konfeksiyon işlemleri sırasında temas yüzeylerinde hem birbirlerine, hem de bu işlemler sırasında farklı materyallere sürtünmektedirler. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, iplik sürtünmesini simüle etmek amacıyla hem sürtünen yüzeyi, hem de sürtünmenin şeklini değiştirecek çeşitli cihaz ve aparatlar kullanılarak iplik sürtünmesinin belirlenmekte olduğu görülmektedir. Bu çalışma kapsamında iplik sürtünmesi konusunda yapılan çalışmalar incelenerek, iplik-iplik ve iplik-materyal sürtünmesini ölçmekte kullanılan yöntemler hakkında bilgiler verilmektedir.

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

## YARN FRICTION PROPERTIES: IMPORTANCE AND TEST METHODS

### ABSTRACT

Friction properties of textile surfaces are important for all textile products from fibre to fabric, because they affect the production processes, properties and performance of the product. Yarns, both in the production process and within the fabric structure and also during apparel manufacturing, rub each other and other materials on contact areas. In previous studies on this topic, it is seen that yarn friction is determined by various devices and apparatuses which change both friction surface and friction type to simulate the yarn friction through the processes. In this study, following examination of previous studies on yarn friction, knowledge on measuring methods used for yarn to yarn and yarn to material friction will be given.

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

## 1. GİRİŞ

Sürtünme; kaliteyi, yapılan işlemlerin etkinliğini ve ürünün performansını etkilediği için liften kumaşa bütün tekstil materyalleri için önemli bir özelliktir. Tüketicinin satın alacağı son ürünün özelliklerini kumaş ve dikim özellikleri belirleyeceği gibi, kumaş özelliklerini kumaş oluşturan ipliklerin özellikleri, ipliklerin özelliklerini de lif özellikleri belirlemektedir. Liflerin iplik oluşum sürecindeki ve ipliklerin kumaş oluşum sürecindeki davranışlarını belirleyen en önemli faktörlerden biri de sürtünmedir. Tekstil materyallerinin sürtünmesini lif sürtünmesi, iplik sürtünmesi ve kumaş sürtünmesi şeklinde sınıflandırmak mümkündür.

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 [1]. 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 [2]. Bunun yanında liflerin sürtünme özellikleri, ipliğin ve kumaşın sürtünme davranışını da etkilemesi sebebiyle üzerinde durulması gereken bir konudur.

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.

Kumaş sürtünmesi ise kumaşın gerilme özelliklerini, tutumunu, konforunu, aşınma ve boncuklanma direncini, giyim dayanımını, dökümlülüğünü, sıkıştırılabilirliğini ve çekme davranışını etkilemektedir [3].

Bu çalışma kapsamında öncelikle sürtünme özelliği, daha sonra tekstil ürünleri açısından önemli özelliklerden biri olan iplik sürtünmesi ve ölçülmesi konusunda genel bilgiler verilmektedir.

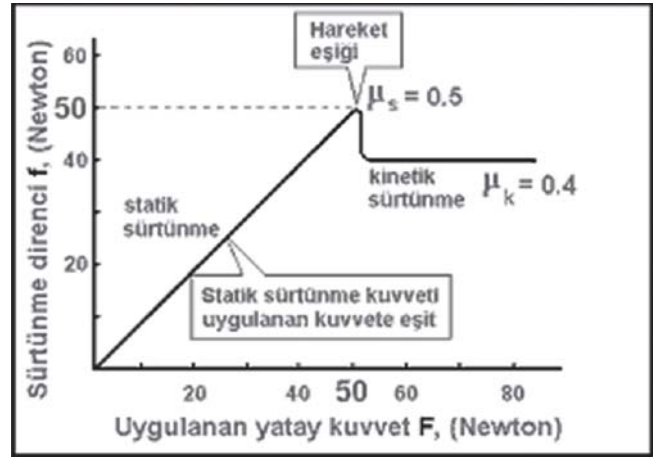
## 2. TEKSTİL MATERYALLERİNDE SÜRTÜNME

Sürtünme kuvveti, genel olarak temas halindeki iki cismin arayüzeyinde birbirlerine göre hareketini engelleyici

yönde etkiyen kuvvettir. 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.

Statik sürtünme kuvveti; temas halinde olan iki cisim birbirlerine göre durgun haldeyken oluşacak bağıl hareket karşılıklı koyan kuvvettir. 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 denilebilir. Dinamik sürtünme kuvveti ise eşik değeri aşıldıktan sonra cisim harekete başladıktan sonra oluşan ve büyüklüğü uygulanan yatay kuvvetten bağımsız olup, arayüzeye dik olan normal kuvvetle orantılı olan kuvvettir. 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.

Statik sürtünme kuvvetinin en büyük değeri, cismin harekete başlama anında (hareket eşikinde) ortaya çıkmaktadır. Statik sürtünme kuvvetinin büyüklüğü değişken olup, cisme o an uygulanan yatay kuvvete eşittir. Bu durum Şekil 1'de  $45^\circ$  eğimli doğrusal kesim olarak görülmektedir. Dinamik sürtünme kuvveti ise cisim eşik değeri aşıldıktan sonra devreye girmektedir. Bu ise, Şekil 1'in devamındaki yatay doğru olarak gösterilmektedir. İki doğrusal bölge arasında, sürtünme kuvvetinde dolayısıyla da sürtünme katsayısında bir azalma görülmektedir [4].



Şekil 1. Sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısının sürtünme grafiği üzerindeki gösterimi [4]

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. İki cisim arasındaki sürtünme katsayısı genellikle 0-1 arasında değişmekle birlikte bazı cisimlerde bu katsayı 4'e kadar çıkabilmektedir. Tablo 1'de bazı materyaller için sürtünme katsayıları, Tablo 2'de ise bazı tekstil lifleri için sürtünme katsayıları görülmektedir.

Tablo 1. Bazı materyaller için statik ve dinamik sürtünme katsayısı değerleri [4,5]

	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

Tablo 2. Bazı lifler için statik ve dinamik sürtünme katsayısı değerleri [6]

	Statik ( $\mu_s$ )	Kinetik ( $\mu_k$ )
Rayona karşı rayon <sup>1</sup>	0,35	0,26
Rayona karşı rayon <sup>1</sup>	0,22	0,14
<b>Yüne karşı yün</b>		
Pulcuk yönünde	0,13	0,11
Pulcuklara karşı	0,61	0,38
Aynı yönde lifler	0,21	0,15
<b>Rayona karşı yün</b>		
Pulcuk yönünde	0,11	0,09
Pulcuklara karşı	0,39	0,35
<b>Naylona karşı yün</b>		
Pulcuk yönünde	0,26	0,21
Pulcuklara karşı	0,43	0,35
Naylona karşı naylon	0,47	0,4

<sup>1</sup>Tablo 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 [4].

Sürtünme terimi ilk kez Leonardo Da Vinci (1452-1519) tarafından telaffuz edilmiştir [7, 11]. Amontons ise 1699 yılında sürtünme katsayısını( $\mu$ ) cismi hareket ettirmek

için gereken yatay kuvvetin(F) cismin ağırlığına(N) oranı şeklinde ifade etmiştir (Eşitlik 1).

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (1)$$

1788 yılında Coulomb bu kuralları daha ayrıntılı olarak incelemiş ve dinamik (kinetik) sürtünmenin statik sürtünmeden daha düşük olduğuna dikkat çekmiştir. 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 [8].

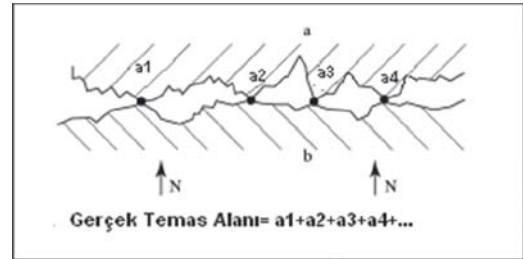
Bu nedenle Howell ve Mazur tekstil materyalleri için daha genel ampirik bir formül önermişlerdir [3]:

$$F = aR^n, \quad (2)$$

$$\mu = aR^{n-1} \quad (3)$$

Eşitlik 2 ve 3'de 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.

Sürtünme için adhezyon teorisine göre ise iki yüzeyin sürtünme davranışı mikroskobik olarak incelendiğinde iki yüzey birbirleriyle temas halindeyken bir yükü bastırılırsa sadece birbirine değen pürüzlerde (asperit) temas oluşmaktadır. Cismin sürtünme kuvvetini yenerek yüzeyden kayabilmesi için güçlü asperitler yok edilmelidir [8]. Şekil 2'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 2. Cisim yüzeylerindeki asperitler [9]

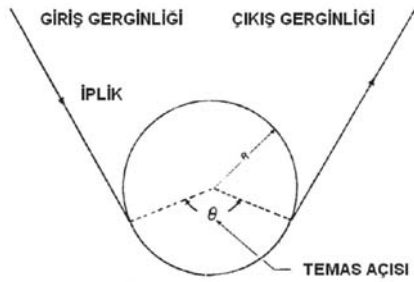
$$\mu = \frac{S}{P_y} \quad (4)$$

Eşitlik 4'te S kesişim noktasındaki kayma kuvvetini,  $P_y$  akma noktasındaki baskıyı göstermektedir.

Tekstillerin düzlemsel yüzeylere teması söz konusu iken sürtünme davranışlarını belirlemek amacıyla yukarıda bahsedilen teoriler kullanılmaktadır. 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 5'e göre ipliklerin sürtünme davranışları belirlenmektedir [10,11]

$$T_2 = T_1 e^{\mu \theta} \quad (5)$$

Bu durumda ipliğin silindir etrafından geçişi "Capstan Problemi" olarak tanımlanmakta ve Eşitlik 5'teki  $T_2$  ipliğin hareket yönündeki gerginliğini (çıkış gerginliğini),  $T_1$  giriş gerginliğini ve  $\theta$  temas açısını göstermektedir. Şekil 3'te temas açısı gösterilmektedir.



Şekil 3. Temas açısının şematik gösterimi [12]

### 3. İPLİK SÜRTÜNMESİ

İpliklerin ipliklere ve diğer materyallere sürtünmesi, ipliklerin üretimi ve kumaş oluşumu sırasındaki davranışları ile kumaş içerisindeki davranışlarını belirleyen en önemli faktörlerdendir. Kimi zaman istenen kimi zaman da istenmeyen yüzey sürtünmesi, iplik oluşumundan son ürünün oluşumuna kadar tekstillerin tüm üretim aşamalarında ortaya çıkmaktadır. İplik henüz oluşum

aşamasında iken çeşitli yüzeylerle sürtünmekte ve bobine sarıldığı anda da iplikler kendi aralarında sürtünmeye devam etmektedir. İplik sürtünmesi sonucu ipliğin ve dolayısıyla bu iplikten oluşturulan kumaşın fiziksel, mekanik ve yüzey özelliklerinde birtakım değişiklikler meydana gelmektedir.

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 birlikte kalite problemlerine neden olmaktadır. Kumaş oluşumundan sonra ise kumaş yapısı içerisindeki iplikler temas yüzeylerinde birbiriyle sürtünmeye devam etmektedir.

İplik 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 sürtünmesi olarak incelenmekte bununla birlikte iplik materyal sürtünmesi için çoğunlukla iplik-metal ve iplik- seramik sürtünmesi dikkate alınmaktadır.

#### 3.1. İplik Sürtünmesini Etkileyen Faktörler

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

Hong 2002 yılında iplik sürtünme özelliklerini etkileyen faktörleri lif özellikleri, iplik yapısal ve hacimsel özellikleri, işlem parametreleri ve bitim işlemlerinin etkisi şeklinde ana başlıklar altında toplamış ve her bir ana sınıfa ait parametreleri Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. İplik sürtünme özelliklerini etkileyen faktörler [3]

İplik sürtünmesini etkileyen faktörlerle ilgili çalışmalar gözden geçirildiğinde, araştırmacıların çoğunlukla hammadde, iplik eğirme yöntemi, iplik geçiş hızı, iplik giriş gerginliği, iplik tüylülüğü ve test parametrelerinin sürtünme üzerine etkilerini incelediği görülmüştür.

Schlatter ve ark., 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 [13].

Scardino ve Lyons, iplik yüzey pürüzlülüğünün iplik sürtünme kuvvetine etkisini incelemek amacıyla poliester filament ipliklerinin sürtünmesini incelemiştir. Daha düşük  $TiO_2$  içeren ipliklerde daha yüksek iplik-iplik ve iplik-metal sürtünmesi gözlemlenmiştir [14].

Schick, 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 arttıracığını belirtmiştir [15]. Gupta ve El Mogahzy ise polipropilen ve akrilik ipliklerini kullanarak, iplik sürtünme özelliklerine nemin etkisini incelemiş ve nemin artmasıyla iplik sürtünmesinin arttığı belirlenmiştir [16].

Kalyanaraman, iplik numarasının sürtünme özellikleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yaptığı çalışmada lineer yoğunluk(tex) arttıkça yüksek temas alanı nedeniyle yüksek sürtünme katsayısı olduğunu gözlemlenmiştir [17].

Galuszynski ve Ellis, ise yaptıkları çalışmada iplik geçiş hızı arttıkça sürtünme kuvvetinin öncelikle belirli bir miktar düştüğü, sonra çok az bir miktar artarak sabit kaldığını gözlemlenmiştir. 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 [18].

Zurek ve Frydrych iplik düzgünsüzlüğünün sürtünme özelliklerine etkisini inceledikleri çalışmada iplik düzgünsüzlüğü arttıkça sürtünme kuvvetinin de artacağı sonucuna varmışlardır [19].

<sup>2</sup>Caprolan lifi orijinal çalışmada Nat. Aniline Division, Allied Chemical Corp.firmasının tescilli markası olarak ifade edilmiştir[13].

Chattopadhyay ve Banerjee, inceledikleri ipliklerde büküm sayısının ve iplik eğirme teknolojisinin sürtünme özelliklerine etkisini incelemiş, pamuk, viskon ve polies-ter 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 [20].

Rankumar ve ark., hammaddenin iplik sürtünme özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla friksiyon eğirme teknolojisiyle üretilen farklı hammaddeler ve farklı karışımlardan oluşan (Kevlar, PES, PP, PA 6.0) ipliklerin sürtünme katsayılarını belirlemişler ve yapılan çalışma sonucunda bütün gerginlik değerleri için en düşük sürtünme katsayısının PP ipliklerinde olduğunu belirtmişlerdir [21].

Svetnickené ve Čiukas koruyucu giysi yapımında kullanılan örme kumaşlardaki teknik (SVM, fenilon, nomex) ve klasik (PA6, PAN, pamuk) ipliklerin sürtünme davranışlarını incelemiştir. 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 [22].

Ghosh ve ark. ise friksiyon, rotor, ring ve hava jetli iplik eğirme teknolojisiyle üretilen ipliklerde eğirme teknolojisinin, iplik sürtünme yüzeyinin(iplik-iplik ve iplik-metal) sürtünme ölçüm yönteminin, giriş gerginliğinin ve geçiş hızının sürtünme özelliklerine etkisini incelemiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre eğirme teknolojileri açısından değerlendirildiğinde kaba iplik yüzeyi daha yüksek iplik-iplik ve daha düşük iplik-metal sürtünmesine neden olmaktadır. 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 [23].

#### 4.İPLİK SÜRTÜNMESİNİN ÖLÇÜLMESİ

Lif sürtünmesini ölçmek amacıyla kullanılan birçok yöntem iplik sürtünmesini belirlemek amacıyla da kullanılabilir. 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.

#### 4.1. 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 [24] 1990 yılında Siro iplikler kullanarak Howell Yöntemi ile iplik-iplik ve iplik-metal sürtünmesini ölçmüşlerdir. Briscoe ve Motamedi 1990 yılında Asılı Lif Yöntemi'ni pamuk ve aramid iplikleri için kullanmıştır [25] Kalyanaraman ve Prakasam 1987 yılında iplik-kılavuz sürtünmesini ölçmek amacıyla SITRA sürtünme yöntemini geliştirmişlerdir [26].

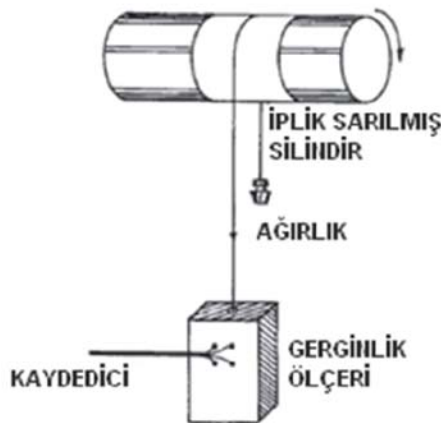
#### 4.2. Çizgisel Temas Yöntemleri

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) [27].

##### 4.2.1. İplik-İplik Sürtünmesinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

###### 4.2.1.1. 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 [27]. Ayrıca ipliğin geçtiği makarada herhangi bir materyal kullanılarak iplik-materyal sürtünmesinin ölçülmesi mümkündür.



Şekil 5. Capstan yöntemi [27]

Standartlara göre Capstan Yöntemi'nde iplik 48 mm çaplı bir silindire 180° 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 5'te 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 [28].

Bu yöntemde iplik sürtünme katsayısı, eşitlik 6 kullanılarak hesaplanmaktadır:

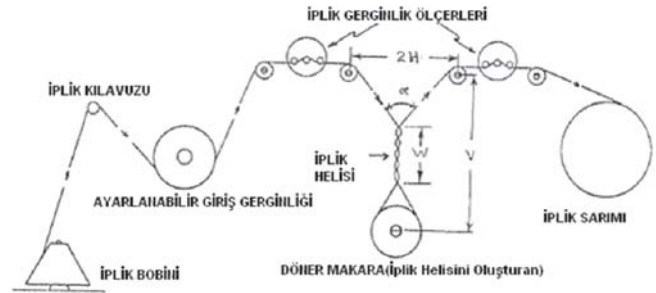
$$T_2 = T_1 e^{\mu \theta} \quad (5)$$

$$\mu = \frac{\ln(T_2) - \ln(T_1)}{\theta} \quad (6)$$

Eşitlik 6'da,  $\mu$ , sürtünme katsayısı;  $T_1$ , ortalama giriş gerginliği;  $T_2$ , ortalama çıkış gerginliği;  $\theta$ , sarım açısıdır (180°).

###### 4.2.1.2. Bükülmüş İplik Yöntemi

Bükülmüş iplik yönteminde iplik 900° sarım açısı ile sarılmaktadır. Şekil 6'da bükülmüş iplik yönteminin şematik diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 6. Bükülmüş iplik yöntemi [27]

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 [23, 26].

İplikler arasındaki açı, Eşitlik 7'de verilen formül ile hesaplanmaktadır:

$$\alpha = 2 \arctan \left( \frac{H}{V - W} \right) \quad (7)$$

Şekil 6'da görüldüğü gibi Eşitlik 7'deki 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.

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 [22, 23, 29].

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 8).

$$\mu = \frac{\ln \frac{T_2 - \Delta T / 2}{T_1 + \Delta T / 2}}{2\pi n_{\alpha}} \quad (8)$$

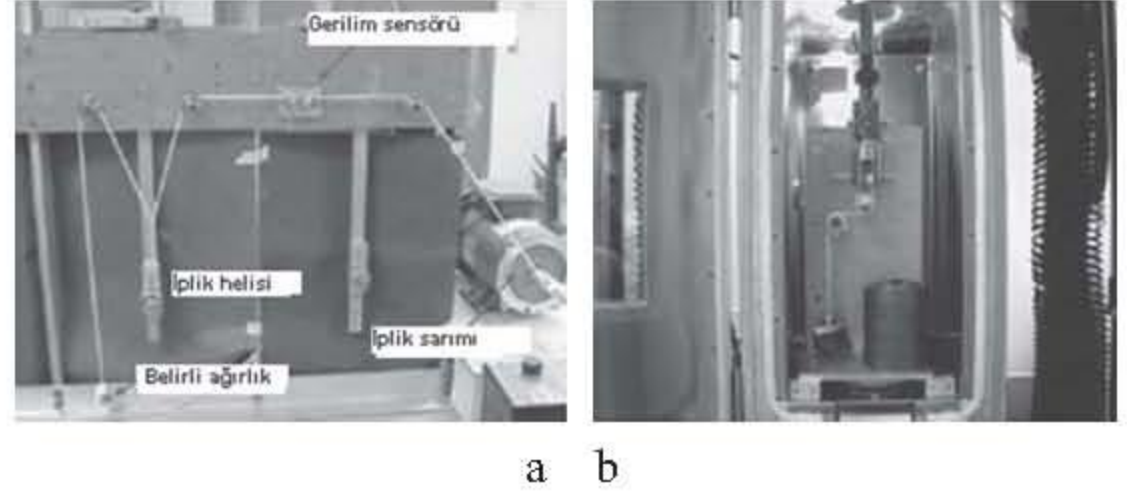
Eşitlik 8'den, Şekil 6'da iplik helisi olarak gösterilen bölümdeki katlama bükümü sayısı;  $T_1$ , ortalama giriş gerginliği;  $T_2$ , ortalama çıkış gerginliği;  $\Delta T$ , sıfır bükümdeki iplik gerilmesidir [27, 29]. ( $\Delta T$ , hiç iplik-iplik sürtünmesi olmaması durumunda giriş ve çıkış gerginliği arasındaki farktır.)

Literatür incelendiğinde genel olarak bükülmüş iplik yöntemi ve Capstan yöntemi kullanılarak ipliklerin sürtünme özelliklerini belirleyen çeşitli çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmaların yanı sıra bazı araştırmacılar da bu yöntemler dışında kendi geliştirmiş oldukları yöntemlerle iplik sürtünme özelliklerini belirlemektedirler.

Koo ve Kim, 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 simüle 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 arttıracığı belirtilmiştir [30].

Liu ve ark., polipropilen/cam ipliklerinde Capstan ve bükülmüş iplik yöntemiyle iplik-iplik sürtünme katsayılarını ölçmüşlerdir (Şekil 7). Ölçümler aksenal gerilme, iplikler arasındaki açı, iplik kayma hızı ve sıcaklık değiştirilerek yapılmıştır. Sonuçta iplik aksenal gerilmesi arttıkça düz-

leşme artacağından sürtünmenin azaldığı, sıcaklık arttıkça ( $190^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar) polipropilen erimeye başlayacağından ve bu da kayganlaştırıcı bir etki göstereceğinden sürtünme katsayısının düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca iplik geçiş hızı düşük olursa iplikler karmaşıklıktan kurtulmak için yeterli vakti bulacaklarından sürtünme katsayısının daha düşük olduğu, geçiş hızı yüksek olursa iplikler karmaşık yapıda kalacaklarından sürtünme katsayısının yüksek olduğu belirtilmiştir [29].



Şekil 7. İplik sürtünmesi ölçüm düzenekleri [28 ]  
(a. Bükülmüş iplik yöntemi düzeneği, b. Capstan yöntemi düzeneği)

Svetnickenê ve Čiukas, 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 8). 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 silindirdekenden daha düşük çıkmıştır [22].



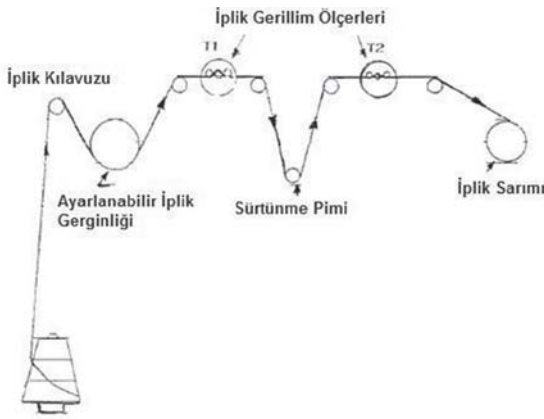
Şekil 8. İplik sürtünmesi ölçüm düzenekleri [22 ]  
a. İpliğin hareketsiz silindirden geçtiği düzenek b. İpliğin örme iğnesinden geçtiği düzenek c. İpliğin döner silindirden geçtiği düzenek

#### 4.2.2. İplik- Materyal Sürtünmesinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

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

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 [12]. 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 9).



Şekil 9. İplik- materyal sürtünmesini belirlemek için kullanılan aparat [12]

İplik sürtünme katsayısını hesaplamak için Eşitlik 6 kullanılmaktadır:

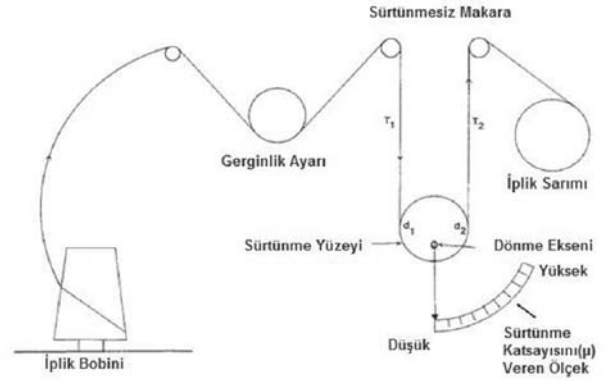
$$T_2 = T_1 e^{\mu\theta} \quad (5)$$

$$\mu = (\ln T_2 - \ln T_1) / \theta = \ln(T_2/T_1) / \theta \quad (6)$$

Doğrudan iplik-materyal sürtünmesini veren aparatta ise diğer sistemle aynı şekilde giriş gerginliği belirlenir ve çıkış gerginliği ölçülür (Şekil 10). Ancak, bu yöntemde aparata çıkış gerginliği/ giriş gerginliği oranını kurabilen ve sürtünme katsayısını belirleyebilen ve gösteren ekran veya ölçek eklenmiştir.

Zurek ve Frydrych, iplik-iplik sürtünmesini belirlemek amacıyla yeni 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 [19].



Şekil 10. İplik-materyal sürtünmesini belirlemek için kullanılan aparat (doğrudan ölçüm) [12]

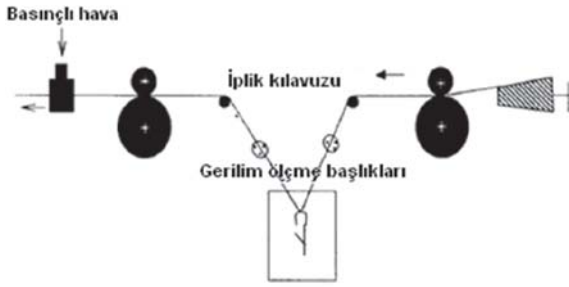
Wang ve Chang, SDL 096/98 Tüylülük/ Sürtünme Cihazı'nda farklı teknolojilerde eğrilmiş, farklı hammaddelere sahip (pamuk ve yün) ipliklerin farklı hızlarda (20–60–100–140 m/dak.) tüylülüklerini incelemişlerdir. Bu cihazda ölçüm hızı arttıkça bulunan tüylülük değerlerinin azaldığı bununla birlikte elde edilen sonuçlara tüylülük yönünün yanı sıra sürtünme yüzeyinin etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Hızın artması nedeniyle iplik yüzeyindeki tüylerin yassılaşıp sürtünmeyi ve tüylülüğü düşürdüğü belirtilmektedir [31].

Vickers ve ark., 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 [32].

Koo, örme iğnesi üzerindeki iplik gerilimlerini incelemiştir. Burada sürtünme pimi yerine örme iğnesi kullanılarak bir test düzeneği oluşturulmuş ve ipliğin örme makinelerinde izlediği yol simüle edilmiştir (Şekil 11). Araştırmacılar, çalışma için hazırlanan düzeneğin örme makinelerinin örme noktalarındaki gibi kompleks bir yapı olmadığını ifade etmektedirler. Burada çalışmanın temel amacı örme iğnesi ve iplik gerilim değişimleri arasında bir ilişkiyi elde etmektir. İki farklı iğne çeşidi kullanılarak temas alanının iplik sürtünmesi üzerine etkisi incelenmiştir.



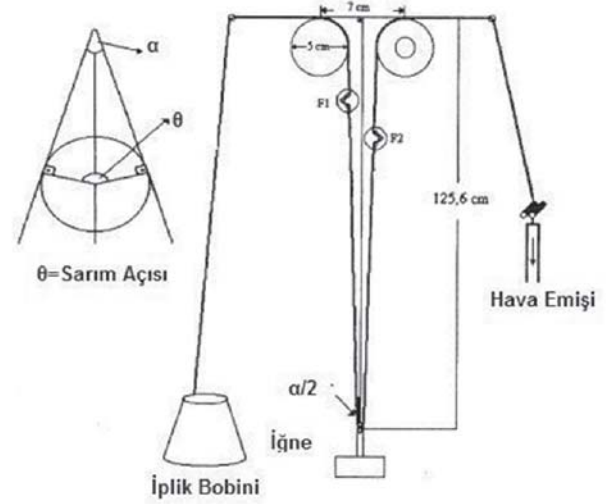
Ayrıca çalışmada iplik besleme açıları da değiştirilmiştir. Daha fazla eğikliğe sahip olan iğnelerde temas alanının daha küçük olması sebebiyle gerilimin daha düşük çıktığı bununla birlikte iplik besleme açılarının gerilim üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Daha küçük açı ile daha fazla temas yüzeyi oluşmuş ve bu nedenle gerilim artmıştır. Gerilimin artmasıyla birlikte iğne-iplik arasındaki sürtünmenin de arttığı tesbit edilmiştir [33].



Şekil 11. İplik- iğne sürtünmesini belirlemekte kullanılan düzenek

Dönmez ve Marmaralı, iplik-iğne ve iplik-iplik sürtünmesini tahminleyecek bir model oluşturarak örme işleminden önce ipliklerin örülebilirliğini belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada pamuk ve pamuk- polyester karışımı farklı büküm katsayılarına sahip iplikler 1x1 rib örgü yapısında örülmüştür. Örme işlemleri gözlemlenerek makina duruşları, iplik kopuşları ve kumaştaki delikler kaydedilmiştir. İplik özelliklerine bağlı olarak iplik-iplik ve iplik-iğne sürtünmesini hesaplayan bir denklem oluşturulmuştur. Ayrıca ipliklerin sürtünme katsayıları bir düzenek yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 12). İpliklerin tamamında iplik-iplik sürtünme katsayısı değerlerinin iplik-iğne sürtünme katsayısı değerlerinden daha yüksek çıktığı ve ölçülen ve tahminlenen sürtünme katsayısı değerlerinin birbirine çok yakın

olduğu görülmüştür[34].



Şekil 12. İplik- iğne sürtünme düzeneği [34]

### 4.3. İplik Sürtünmesi Ölçümünde Kullanılan Test Cihazları

Tekstil testleri alanındaki teknolojik gelişmeler dikkate alındığında, araştırmacılar tarafından iplik 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 3'de verilen test cihazlarının iplik sürtünmesi konusunda test cihazı üreten firmalar tarafından önerildiği görülmektedir.

Tablo 3. İplik Sürtünmesi Ölçümünde Kullanılan Test Cihazları [35-42]

Üretici Firma*	Cihaz İsmi	Ölçülen Parametreler	Standart Yöntem	Ölçüm Tekniği
Graf [35]	Graf CPF İplik Sürtünme Ölçeri	Tüm ipliklerin iplik-materyal sürtünmesi	-	-
Honigmann [36]	HCC µ- Meter	Filament ipliklerin iplik- materyal sürtünme katsayısı	ASTM D 3108	Capstan Yöntemi
Lawson Hemphill [37]	CTT Sabit Gerilim Taşıyıcı Sürtünme Test Cihazı	Tüm ipliklerin iplik- materyal sürtünme katsayısı Tüm ipliklerin iplik- iplik sürtünme katsayısı	ASTM D 3108 ASTM D 3412	Capstan Yöntemi Bükülmüş İplik Yöntemi
Lenzing [38]	Lenzing µ-Meter	Filament ipliklerin iplik- materyal sürtünme katsayısı Filament ipliklerin iplik- iplik sürtünme katsayısı	ASTM D 3108 ASTM D 3412	Capstan Yöntemi Bükülmüş İplik Yöntemi
Mesdan [39]	Attrifil II İplik Sürtünme Ölçeri	Tüm ipliklerin iplik- materyal sürtünme katsayısı	ASTM D 3108	Capstan Yöntemi
Rothschild [40]	F-Meter R-2088 İplik Sürtünme Ölçeri	Tüm ipliklerin iplik- iplik sürtünme katsayısı Tüm ipliklerin iplik- materyal sürtünme katsayısı	- -	- -
SDL Atlas [41]	Shirley Y096/098 İplik Sürtünme ve Tüylülük Ölçeri	Tüm ipliklerin iplik- materyal sürtünme katsayısı	ASTM D 3108	Capstan Yöntemi
Toray [3]	Toray İplik Sürtünme Ölçeri (YF 850)	50-300 denye numara aralığına sahip ipliklerin 0-399°C'de iplik-materyal sürtünme katsayısı İplik-iplik sürtünme katsayısı	- -	- -
Wira Instrumentation [42]	Wira İplik sürtünme Ölçeri	İplik sürtünme katsayısı	-	-
Zweigle by Uster [43]	G 534 µ-Meter	Tüm ipliklerin iplik- materyal sürtünme katsayısı	ASTM D 3108	Capstan Yöntemi

\*Firma isimleri alfabetik olarak listelenmiştir.

## 5.SONUÇ

İplik sürtünmesi, iplikten kumaşa kadar üretim ve kullanım aşamalarının tümünde son derece önemli bir özelliktir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, iplik sürtünmesini belirlemek ve iplik sürtünmesini etkileyen faktörleri incelemek amacıyla farklı prensiplere dayanan çeşitli cihaz ve aparatların kullanıldığı görülmektedir. İplik sürtünmesini kuramsal olarak inceleyen çalışmaların yanı sıra sürtünme kuvvetinin karmaşık bir kuvvet olması ve sürtünme özelliğini etkileyen çok sayıda faktör olması sebebiyle bu konuda daha çok deneysel çalışmalar yapılmakta ve iplik sürtünmesini belirlemeye yönelik araştırmalar güncelliğini korumaktadır.

## TEŞEKKÜR

TÜBİTAK Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu 2210-Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı'na katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

1. Canbaz Karakaş, H., Parlar, Z., (2007), "Tekstil Liflerinde Sürtünme", *Tekstil Teknoloji*, 12(133), 116-126
2. 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
3. Hong, J., Jayanaraman, S., (2003), "Friction in Textiles", *The Textile Institute, Oxford, UK*
4. [http://www.biltek.tubitak.gov.tr/merak\\_ettikleriniz/index.php?kate\\_gori\\_id=3&SORU\\_id=3201](http://www.biltek.tubitak.gov.tr/merak_ettikleriniz/index.php?kate_gori_id=3&SORU_id=3201), Ağustos 2009
5. Serway, R.A., (1992), "Physics For Scientists & Engineers with Modern Physics", *Saunders College Publishing, USA*
6. Physical Properties Of Textile Fibres, The Textile Institute, J.W.S.; Morton, W. E., Oxford, UK.
7. <http://www.wikipedia.org/wiki/Triboloji#Tarih.C3.A7esi>, Ağustos 2009
8. Hong, J., (2000), *Structure-Process- Property Relationships in Polyester Spun Yarns: The Role of Fiber Friction*, *Georgia Institute of Technology*
9. ASTM Digital Library, Handbook, Types of Friction and Friction Testing, Ağustos 2009
10. Başer, G., (2008), "Tekstil Mekaniğinin Temelleri", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir*
11. Kurbak A., (1990), "İğne-İplik Sürtünmesi", *Tekstil ve Teknik*, 67, 78-83
12. ASTM D 3108-01 "Standard Test Method for Coefficient of Friction, Yarn to Solid Material"
13. Schlatter, C., Demas, H. J., (1962), "Friction Studies on Caprolan1 Filament Yarn", *Textile Research Journal*, 32(2), 87-98
14. Scardino, F. L., Lyons, W. J., (1967), "Fiber Surface Properties in Relation to Linear Assemblies During Processing I", *Textile Research Journal*, 37(11), 982-988
15. Schick, M.J., (1973), "Friction and Lubrication of Synthetic Fibers", *Textile Research Journal*, 43(4), 198-204
16. Gupta, B. S., El Mogahzy, (1989), Y. E., "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.
17. Kalyanaraman, A. R., (1988), "Yarn-Friction Studies with the SITRA Friction- Measuring Device", *Journal of the Textile Institute*, 79(1), 147-151
18. Galuszynski, S., Ellis, P., (1983), "Frictional Forces in the

19. Zurek, W., Frydrych, I., (1993), "Comparative Analysis of Frictional Resistance of Wool Yarns", *Textile Research Journal*, 63, 322-335
20. Chattopadhyay, R., Banerjee S., (1996), "The Frictional Behaviour of Ring-, Rotor-, and Friction-spun Yarn", *Journal of Textile Institute*, 87(1), 59-67
21. 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
22. Svetnickienė, V., Čiukas, R., (2006), "Technical and Classical Yarns Friction Properties Investigation", *Mechanika*, 4(60), 54-58
23. 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
24. Subramaniam, V., Natarajan, K. S., (1990), "Frictional Properties of Siro Spun Yarns", *Textile Research Journal*, 60(4), 234-239
25. Briscoe, B. J., Motamedi, F., (1990), "Role of Interfacial Friction and Lubrication in Yarn and Fabric Mechanics", *Textile Research Journal*, 60(12), 697-708
26. Kalyanaraman A.R., Prakasam, R.(1987), "A Method to Measure Static and Kinetic Friction of Yarns", *Textile Research Journal*, 57(5), 307-309
27. ASTM D 3412-01 "Standard Test Method for Coefficient of Friction, Yarn to Yarn"
28. Saville, B.P., (1998), "Physical Testing of Textiles", *Woodhead/The Textile Institute, Manchester, UK*
29. Liu, L., Chen, J., Zhu, B., Yu, T.X., Tao, X.M., Cao, J., (2006), *Proceeding of the 9th International ESAFORM Conference on Material Forming*, Glasgow, UK, April 26-28
30. 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
31. Wang, X., Chang, L., (1999), "An Experimental Study of the Effect of Test Speed on Yarn Hairiness", *Textile Research Journal*, 69(1), 25-29
32. 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
33. Koo, Y., (2004), "Yarn Tension Variation on the Needle During the Knitting Process", *Textile Research Journal*, 74(4), 314-317
34. Dönmez, S., Marmaralı, A., (2004), "A Model for Predicting a Yarn's Knittability", *Textile Research Journal*, 74(12), 1049-1054
35. [http://www.graf-chemie.com/images/stories/technik/frictionmeasuring-system\\_cpf.pdf](http://www.graf-chemie.com/images/stories/technik/frictionmeasuring-system_cpf.pdf), Ağustos 2009
36. <http://www.honigmann.com/k10/g73/i34&lang=2>, Ağustos 2009
37. Lawson Hemphill Ürün Kataloğu, 2008
38. <http://www.lenzing-instruments.com/products/u-meter-friction-tester>, Ağustos 2009
39. [http://www.mesdan.com/english/scheda\\_lab.php/linea/1/destinazione/22/applicazione/54/prodotto/52](http://www.mesdan.com/english/scheda_lab.php/linea/1/destinazione/22/applicazione/54/prodotto/52), Ağustos 2009
40. [http://www.rothschild-instruments.ch/produkte/friction/friction\\_tech.html](http://www.rothschild-instruments.ch/produkte/friction/friction_tech.html), Ağustos 2009
41. [http://www.sdlatlas.com/Y096\\_098.pdf](http://www.sdlatlas.com/Y096_098.pdf), Ağustos 2009
42. <http://www.wira.com/PDF%20Pages/Fibres%20and%20Yarns/Yarn%20Friction.pdf>, Ekim 2009
43. <http://www.uster.com/UI/textile-Zweigle-by-Uster-G-534-%C2%B5-Meter-2-3112.aspx>, Ağustos 2009