

DOKUMA KUMAŞLARDA ÇÖZGÜ GERGINLIĞI İLE KIVRIM İLİŞKİSİNİN TEORİK ANALİZİ

*Gülcan SÜLE**

Özet: Bu çalışmada, ham kumaştaki çözgü gerginliği-kıvrım ilişkisi, Başer (1982)'e ait yaklaşık ve kesin teoriler esas alınarak incelenmiş, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Dokuma kumaşlarda bükümlü polyester çözgü ipliği ile karde pamuk atkı iplikleri kullanılmıştır. Kumaşlar, çözgü gerginliğini, atkı iplik numarasını ve atkı sıklığını değiştirerek dokunmuştur. Kıvrım gerginlik ilişkisi açısından, kesin ve yaklaşık teoriden elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında, ham kumaştaki çözgü kıvrım değişimi açısından yaklaşık teorisinin, ham kumaştaki atkı kıvrım değişimi açısından da kesin teorisinin deneysel sonuçlarla uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Dokuma, Çözgü Gerginliği, Kıvrım, Yaklaşık Teori, Kesin Teori.

A Theoretical Analysis of Relation Between Warp Tension and Crimp in Woven Fabrics

Abstract: In this paper, warp tension-crimp relation in grey woven fabrics is obtained from Başer's (1982) large deformation and approximate linear theories and compared with experimental results. Twisted poliester warp yarn and cotton carded ring spun weft yarns are used in weaving fabrics. Different fabric constructions were woven by changing weft density, weft yarn count and warp tension during weaving. When the conclusions of approximate linear and large deformation theories are compared with the experimental results in terms of the relation between warp tension and crimp, it has been found out that the approximate theory gives similar results to experimental results in terms of warp crimp change in the grey fabric and the large deformation theory also gives similar results to experimental results in terms of weft crimp in the grey fabric.

Key Words: Weaving, Warp Tension, Crimp, Approximate Linear Theory, Large Deformation Theory.

1. GİRİŞ

Dokuma kumaşlar, birbirlerine dik yönde kesişen iki dizi ipliğin bu kesişme sırasında birbirine bağlanarak örgü dediğimiz bir düzende doku oluşturmasıyla elde edilen yapılardır. Bir dokuma kumaşı tam anlamıyla tanımlayabilmek için gerekli parametreleri başlıca iki grupta toplamak mümkündür. Bunlardan ilki, kumaşın yapısını tanımlamada yeterli olan iplik numaraları, örgü, çözgü ve atkı sıklıkları ile kıvrım değerlerini içine alan “temel parametrelerdir”. İkincisi ise, temel parametrelere bağımlı olan kumaş kalınlığı, kumaş birim ağırlığı ve iplikle ilgili büküm değeri, hacimlilik faktörü gibi büyüklükleri içeren “yardımcı parametrelerdir”. Temel parametrelerden kıvrım, kumaşa dahil olan iplik uzunluğunun kumaş uzunluğunu % olarak aşma miktarı şeklinde tanımlanabilir (Peirce 1937). Kumaşın geometrisi üzerine yapılan çalışmalar, kumaş yapısının gözlemlenebilir nicelikleri sıklık, numara veya çap ve kıvrım arasındaki temel bağıntıları ortaya koymayı amaçlamıştır (Peirce, 1937, Hamilton, 1964, Kemp, 1958). Kumaş mekaniği üzerine yapılan çalışmalar ise, geometrik yaklaşımlarda ele alınmayan kumaşın dokunması esnasında maruz kaldığı kuvvetleri dikkate alarak kıvrım oluşumunu veya çeşitli kuvvetlerin etkisi altında kumaşın mekaniksel davranışını incelemişlerdir (Olofsson, 1964, Kawabata ve diğ., 1973, Leaf ve Anandjiwala, 1985, Başer, 1982).

Çözgü ve atkı kıvrımı ile çözgü ve atkı gerginliği arasındaki ilişkileri araştıran deneysel çalışmalar incelendiğinde, Chahal ve Mohamed'e (1986) ait deneysel çalışmada, atkı gerginliğinin ham ve yıkanmış kumaşlarda çözgü ve atkı kıvrımına etkisi araştırılmıştır. Çalışma, atkı gerginliğindeki artışla

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Bursa.

hem ham hem de yıkanmış kumaşta çözgü kıvrımının arttığını, atkı kıvrımının azaldığını göstermektedir. Eren (1993), pamuklu bezayağı kumaşlarda çözgü gerginliğinin çözgü kıvrımı üzerine etkisini incelemiştir. Eren (1993), çözgü gerginliği arttıkça çözgü kıvrımının azaldığını ve bu azalmanın aynı çözgü gerginlik artışı için atkı örtme faktörü yüksek olan kumaşlarda daha yüksek olduğunu göstermiştir. Özkan (Süle) (2007) tarafından yapılan benzer bir çalışmada, çözgü gerginliği arttıkça ham kumaştaki çözgü kıvrımındaki azalmanın atkı sıklığı arttıkça ve atkı ipliği kalınlaştıkça daha belirgin hale geldiği görülmüştür. Bunun yanında, çözgü gerginliğindeki artış karşısında ham kumaştaki atkı kıvrımındaki artışın, atkı sıklığı arttıkça ve atkı ipliği inceldikçe daha belirgin olduğu görülmüştür.

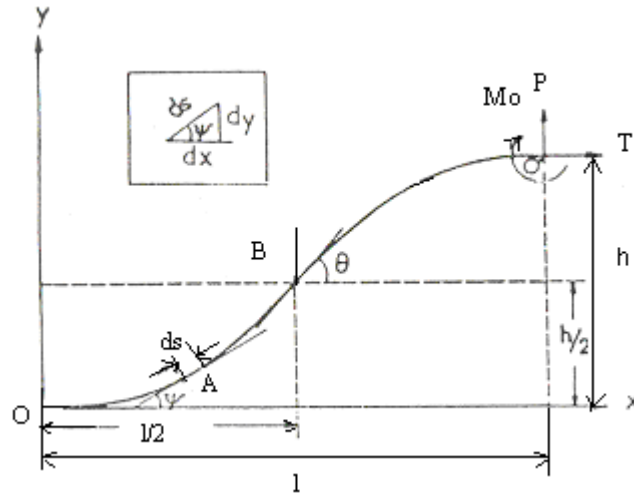
Bu çalışma, farklı çözgü gerginliği altında, farklı atkı sıklığında ve numarasında dokunan kumaşlarda çözgü gerginliği ile çözgü ve atkı kıvrımı arasındaki ilişkiyi, Başer (1982)'in yaklaşık ve kesin teorilerini esas alarak incelemekte, teorik modellerden elde edilen sonuçlarla deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçları karşılaştırmaktadır.

2. BAŞER'E AİT KESİN VE YAKLAŞIK TEORİ

2.1. Kesin Teori

Başer (1982) geometrik-mekanik modelinde, dokuma çekmesi problemini dokumadan önce tezgah üzerinde belirli bir geometrik düzen içinde ve kuvvetler etkisi altındaki kumaşın tezgahtan çıkarıldıktan sonra en, boy ve kalınlık gibi boyutsal değişimlere uğrayarak yeni bir denge durumuna gelmesi şeklinde tanımlamıştır. Başer (1982), problemi iki aşamada ele almıştır. Bunlardan ilki kumaşın tezgah üzerinde oluşumu, ikincisi ise tezgahtan çıkarıldıktan sonraki aşamasıdır. Modelde, atkı ipliğinin kumaşın oluşumu sırasındaki hareketi oldukça karmaşık olduğundan statik yaklaşım kullanılmış ve başlangıçta aşağıdaki geometrik ve mekanik varsayımlar yapılmıştır :

- 1- Atkı ve çözgü iplikleri yuvarlak, eğilebilen ancak belli bir rijitliğe sahip, uzayabilen elastik materyallerdir.
- 2-Deformasyon sırasında iplikler yassılaşmasına rağmen iplik kesit düzlemleri başlangıçtaki gibi paralel kalmaktadır.
- 3- İplikler plastik deformasyona uğramamaktadır.
- 4- Atkı ve çözgü iplikleri birbirlerine paralel, karşıt ipliğe dik olacak şekilde bezayağı örgü yapısına sahiptirler.
- 5- Dokuma esnasında atkı ipliği ihmal edilebilir bir gerginliğe sahiptir.
- 6- Tezgah üzerinde çözgü iplikleri ve kumaş belli bir gerginlik altında dengededirler.
- 7- Kumaş tezgahtan alındıktan sonra çözgü yönünde tezgahın uyguladığı ve atkı yönünde deformasyon sonucu oluşan gerilim kuvvetleri tamamen kalkmaktadır.
- 8- İplikler arasındaki temas nokta temasıdır.



Şekil 1:
Dokuma Esnasında Atkı İpliğinin Deformasyonu

Bu varsayımlar altında tezgah üzerindeki kumaşa ipliğin boyutlarına ait (s: eğri uzunluğu, l: eğrinin periyodu, h: eğrinin genliği) aşağıdaki ifadeler elde edilmiştir.

$$s = \frac{2\bar{F}(k, \phi_0)}{\sqrt{R}} \quad (1)$$

$$l = \frac{2[\sin(\bar{F}(k, \phi_0) - 2\bar{E}(k, \phi_0)) + 2k \cos \alpha \cos \phi_0]}{\sqrt{R}} \quad (2)$$

$$h = \frac{2[\cos(\bar{F}(k, \phi_0) - 2\bar{E}(k, \phi_0)) + 2k \sin \alpha \cos \phi_0]}{\sqrt{R}} \quad (3)$$

Bu denklemlerde:

$$\alpha = \tan\left(\frac{T}{P}\right) \quad (4)$$

$$R = \frac{(\sqrt{P^2 + T^2})}{EI} \quad (5)$$

$$k = \sin(\pi/4 + (\theta + \alpha)/2) \text{ eliptik integral sabiti ve} \quad (6)$$

$$\phi = \phi_0 = \sin^{-1}[(1/k)\sin((\pi/4 + (\alpha/2)))] \text{ 'dir.} \quad (7)$$

olmak üzere \bar{F} ve \bar{E} eliptik integralleri ise aşağıdaki şekilde olur:

$$\bar{F}(k, \phi_0) = \int_{\phi_0}^{\pi/2} \frac{d\phi}{\sqrt{(1-k^2 \sin^2 \phi)}} \quad (8)$$

$$\bar{E}(k, \phi_0) = \int_{\phi_0}^{\pi/2} \sqrt{(1-k^2 \sin^2 \phi)} d\phi \quad (9)$$

Bu denklemlerde kumaşın temel parametreleri olan h, l ve s'nin hesaplanabilmesi için T ve P kuvvetlerinin yanı sıra bu üç parametreden birinin de bilinmesi gerekmektedir. Burada, T çözüğü ve atkı için gerilim kuvvetlerini, P baskı kuvvetini göstermektedir. Bu amaçla, modelde deformasyon sırasında ipliklerin uzayabilir olduğu varsayımı yapılarak ipliğin ilk uzunluğunu (s_0) belirleyen aşağıdaki formül geliştirilmiştir.

$$s_0 = \frac{2}{Q\sqrt{R}} \int_{\phi_0}^{\pi/2} \frac{d\phi}{(1+n \sin^2 \phi)\sqrt{(1-k^2 \sin^2 \phi)}} \quad (10)$$

Burada, $Q = 1 - \frac{P}{\lambda \cos \alpha}$ ve $n = \frac{2Pk^2}{\lambda \cos \alpha - P}$ olup λ ipliklerin Young modülleridir.

Kumaş tezgahtan alındıktan sonra çözüğü ve atkı için T gerilim kuvvetleri ortadan kalkmaktadır. Bu durumda eğrinin yeni biçimini P baskı kuvveti ve M_0 denge momenti belirleyecektir. Bu durumda ham kumaştaki kumaş parametreleri (s_h : eğri uzunluğu, l_h : eğrinin periyodu, h_h : eğrinin genliği) ise aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$s_h = \frac{2\bar{F}(k_0, \phi_0)}{(\sqrt{P/EI})} \quad (11)$$

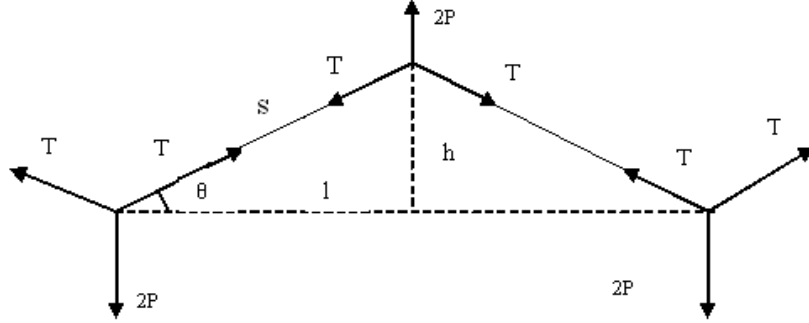
$$l_h = \frac{4k_0 \cos \phi_0}{(\sqrt{P/EI})} \quad (12)$$

$$h_h = \frac{2(\bar{F}(k_0, \phi_0) - 2\bar{E}(k_0, \phi_0))}{(\sqrt{P/EI})} \quad (13)$$

Denklemlerde, $k_0 = \sin\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta_0}{2}\right)$ ve $\phi_0 = \sin^{-1} \frac{1}{k_0\sqrt{2}}$ 'dir.

2.2. Yaklaşık Teori

Başer (1982), yukarıda açıklanan teorisinin analizinde çözgü ve atkı iplikleri için ayrı ayrı (T/P) ile θ ve θ_0 değerlerinin çözüm veren aralıklarının önceden tahmin edilmesine yönelik teorisini yaklaşık teori olarak adlandırmıştır. Bu teoride, Kawabata ve diğ. (1973)'nin ve Leaf ve Kandil (1980)'in kullandıkları geometrik modelleri temel alarak süperpozisyon kanununu kullanmıştır. Örgü birimi içinde ipliklerin kesişme noktalarında birbirleriyle birleştirilmiş düz, rijit ve uzayabilir özellikte daire kesitli çubuklar olduğu, P basınç ve T gerilim kuvvetleri etkisi altındaki iplikte P-Tsin θ büyüklüğündeki bir kuvvetin h deformasyonunu oluşturduğu kabul edilmiştir (şekil 2). Buna göre çözgü ipliğine ve atkı ipliğine etki eden baskı kuvvetleri (P_c) ve (P_a) aşağıdaki şekilde elde edilmiştir:



Şekil 2:
İplikte h Deformasyonunun Oluşumu

$$P_a = h_2 \left[\frac{12(EI)_2}{l_2^3} + E_2 \left(\frac{1}{l_2} - \frac{1}{s_2} \right) \right] \quad (14)$$

Çözgünün deformasyon esnasında uzadığı kabulü ile;

$$P_c = h_1 \left[\frac{12(EI)_1}{s_{01}^3} + E_1 \left(\frac{1}{s_{01}} - \frac{1}{s_1} \right) \right] \quad (15)$$

Formüllerde;

$$s_{01} = \frac{s_1}{1 + \frac{T_1 l_1}{E_1 s_1}} \quad (16)$$

dir. Ayrıca;

$$s_1 = \sqrt{(l_1^2 + h_1^2)}, \quad s_2 = \sqrt{(l_2^2 + h_2^2)} \quad (17)$$

ve $\sin \theta_1 = \frac{h_1}{s_1}$, $\sin \theta_2 = \frac{h_2}{s_2}$ olup

$l_1=1/\text{atkı sıklığı}$ ve $l_2=s_{02}=1/\text{çözgü sıklığı}$ 'dır.

Kumaş tezgahtan çıkarıldıktan sonra sadece baskı kuvvetlerinin (P) etkisi altında olacağından ham kumaşa meydana gelen çözgü ve atkı deformasyonları için ise aşağıdaki eşitlikler çıkarılmıştır:

$$h_{01} = P_{\zeta} \frac{S_{01}^3}{12(EI)_1} \quad (18)$$

$$h_{02} = P_a \frac{l_2^3}{12(EI)_2} \quad (19)$$

Denklemlerde:

- T_1 : çözümlü gerginliği,
 E_1 ve E_2 : çözümlü ve atkı ipliği elastisite sabitleri,
 EI_1 ve EI_2 : çözümlü ve atkı ipliği eğilme rijitlikleri.

Bu durumda modelde h_1 , h_2 ve P ($P=P_a=P_{\zeta}$) olmak üzere üç bilinmeyen ve 14 ve 15 nolu denklemler olmak üzere iki denklem yer almaktadır. Bu nedenle Başer (1982), tek bir çözüme ulaşabilmek için ham kumaşta sınırlı olarak geçerli olan iplik çapları toplamının $h_{01}+h_{02}$ toplamına eşit olduğu koşulunu dikkate alarak üçüncü bir denklem elde etmiştir.

$$h_{01} + h_{02} = d_1 + d_2 \quad (20)$$

Böylece, önceden tahmin edilen belli aralıktaki h_1 ve h_2 değerleri için yukarıda verilen denklemlerden ve $P_a=P_{\zeta}$ ile $h_{01}+h_{02}=d_1+d_2$ koşullarından tezgahta ve ham kumaşta kumaş çekmeleri hesaplanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

DeneySEL çalışmalar, Picanol(Omni) hava jetli dokuma makinasında yapılmıştır. Bu dokuma makinasına ve dokunan kumaşlara ait parametreler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1.
Dokuma Makinası ve Kumaş Parametreleri

Makine Parametreleri	Kumaş Parametreleri
Atkı Atma Sistemi : Hava Jetli	Çözümlü İplik Numarası : 150 denye
Ağızlık Açma Sistemi : Kamlı	(polyester/bükümlü)
Makine Devri : 710 dev/dak	Çözümlü Sıklığı (tel/cm) : 33.5 (taraktaki)
Makine Eni : 190 cm	Örgü : Bezayağı
Atkı Renk Adedi : 2	Atkı İpliği Cinsi : Pamuk (karde)
Çözümlü Salma Sistemi : Elektronik	Atkı İplik Numarası : Tablo 2'de verilmiştir
Kumaş Çekme Sistemi : Elektronik	Atkı Sıklığı : Tablo 2'de verilmiştir
Ağızlık Kapanma Açısı : 320°	Çözümlü gerginliği(kN) : Tablo 2'de verilmiştir
Ön Ağızlık Açısı : 26°	
Arka Köprü Yüksekliği : 1.5 cm	

DeneySEL çalışma esnasında, çözümlü gerginliğinin ölçümünde Schmidth marka SCB-D tipi bir gerginlik ölçer kullanılmıştır. Dijital göstergelerden gerginlik değerleri 0-200 cN arasında elde edilebilmektedir. Bu aralıktaki gerginlik değişimi 0-10 V arasında değişen bir analog sinyal değişimine karşılık gelmektedir. Gerginlik ölçerden elde edilen bilgilerin dokuma makinasının hangi pozisyonuna karşılık geldiğini tespit edebilmek için de bir yerdeğiştirme sensörü kullanılmıştır. Ölçme cihazlarıyla bu verilerin kaydedilip değerlendirildiği bir kişisel bilgisayar arasındaki bağlantı ise arabirim kartı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Ölçme cihazlarından verilerin okutulması ve elde edilen verilerin dosyalanabilmesi için TC programlama dilinde bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Program, 20 makina devri için, her makina devrinde çözümlü gerginliğini ve yerdeğiştirme sensöründen elde edilen sinyalleri kaydetmektedir.

3.2. Yöntem

Dokuma kumaşlar, farklı çözgü gerginliklerinde ve farklı atkı sıklıklarında dokunmuş, dokunan her bir kumaşta tek çözgü ipliği gerginliği Schmidth marka gerginlik ölçer tarafından ölçülmüştür. Dokuma işlemi esnasında tek çözgü ipliğine ait çözgü gerginliğinin ölçümü, gerginlik ölçerin pozisyonu 4. çerçevede ve makina sol kenarından itibaren 60 cm içerideki çözgü ipliğinden ölçüm alacak şekilde ayarlanarak yapılmıştır. Tablo 2.'de deneysel çalışma planı sunulmuştur.

Tablo 2.
Deneysel Çalışma Planı

Atkı ipliği numarası (Ne)	Çözgü gerginliği (kN)	Tezgahta ayarlanan atkı sıklığı (atkı/cm)
24/1	0.9	18-22
	1.25	18-22
	1.50	18-22
	1.75	18-22
50/1	0.9	18-22
	1.25	18-22
	1.50	18-22
	1.75	18-22

Bu çalışmada çözgü gerginliği, dokuma makinasında elektronik çözgü salma mekanizmasına ait gerginlik ölçme sensörü tarafından ölçülen bütün çözgü ipliklerinin gerginliğini ifade etmektedir. Bu parametre dokuma makinasının bilgisayarına kN olarak girilmekte ve dokuma işlemi boyunca elektronik çözgü salma mekanizması tarafından sabit değerde tutulmaktadır. Bulgular bölümünde grafiklerde x ekseninde yer alan ortalama çözgü gerginliği ise, farklı atkı ipliği numarasında ve sıklığında, dört farklı çözgü gerginliğiyle dokunan her bir kumaşta Schmidth marka gerginlik ölçme sensörü tarafından 20 tezgah devri için ölçülen tek çözgü ipliğine ait gerginlik değerlerinin ortalamasıdır. Kumaşlar dokunduktan sonra kondisyonlama işlemine tabi tutulmuş ve sonrasında ham kumaştaki çözgü ve atkı kıvrımlarının ölçümü ASTM D3883-04 standardına göre yapılmıştır.

Çalışmanın teorik kısmında, Başer'e ait Kesin ve Yaklaşık Teoriler Borland C++ bilgisayar programlama dilinde çözülmüş, kumaş özellikleri ve ölçüm alınan ortalama çözgü gerginlik değerleri bilgisayar programlarına girilerek ham kumaş üzerindeki atkı ve çözgü kıvrım değerleri hesaplatılmıştır. Yaklaşık teorinin çözümü için programa başlangıçta veri olarak l_1 (1/tezgahtaki atkı sıklığı), l_2 (1/taraktaki çözgü sıklığı), E_1 ve E_2 (çözgü ve atkı ipliği için elastisite modülleri), EI_1 ve EI_2 (çözgü ve atkı ipliği eğilme rijitlikleri) ve T (tek çözgü ipliğine ait ortalama çözgü gerginliği-cN) değerleri girilmiştir. Program öncelikle, belli aralıkta girilen tezgah üzerindeki çözgü ve atkı ipliği kıvrım genlikleri için (h_1 ve h_2) çözgü ve atkı ipliğinde deformasyon oluşturan $Pç$ ve Pa kuvvetlerinin eşitliğini araştırmaktadır. Bunun için h_1 'e bağlı olarak çözgü ipliğinin deformasyondan sonraki uzunluğu s_1 ve çözgü ipliğinin deformasyon sırasında uzama gösterdiği kabul edilerek çözgü ipliğinin uzamadan önceki uzunluğu s_{01} hesaplanmaktadır. Bu koşullar altında $Pa=Pç$ koşulu sağlandığında aynı kuvvetlerin etkisinde kumaştaki kıvrım genlikleri (h_{01} ve h_{02}) elde edilmektedir. Ham kumaşta sınırlı olarak geçerli olduğu kabul edilen h_{01} ve $h_{02} = d_1 + d_2$ (ham kumaşta çözgü ve atkı ipliği kıvrım genlikleri toplamı = çözgü ve atkı ipliği çaplar toplamı) koşulu sağlandığında, l_{01} (ham kumaşta iki atkı ipliği eksenleri arasındaki mesafe) ve l_{02} (ham kumaşta iki çözgü ipliği eksenleri arasındaki mesafe) parametreleri bulunmaktadır. Son olarak program, ham kumaş üzerindeki çözgü ve atkı kıvrım değerlerini aşağıdaki eşitliklere bağlı olarak hesaplamaktadır:

Ham kumaşta kıvrımlar:

$$c_{01} = \frac{(s_{01} - l_{01})}{l_{01}} \text{ (çözgü)} \quad c_{02} = \frac{(s_{02} - l_{02})}{l_{02}} \text{ (atkı)} \quad (21)$$

Burada,

- l_{01} : Ham kumaşta iki atkı ipliği eksenleri arasındaki mesafe (cm),
 l_{02} : Ham kumaşta iki çözgü ipliği eksenleri arasındaki mesafe (cm),
 s_{01} : Çözgü ipliğinin uzamadan önceki uzunluğu (cm),
 s_{02} : Teoride, atkının ağızlığına gerilimsiz atıldığı kabulü ile $s_{02} = l_2$ (cm),
 c_{01} ve c_{02} : Ham kumaşta çözgü ve atkı kıvrımıdır.

Kesin teoremin çözümü için programa başlangıçta veri olarak, l_1 (1/tezgahtaki atkı sıklığı), l_2 (1/taraktaki çözgü sıklığı), E_1 ve E_2 (çözgü ve atkı ipliği için elastisite modülleri), EI_1 ve EI_2 (çözgü ve atkı ipliği eğilme rijitlikleri) ve T (tek çözgü ipliğine ait ortalama çözgü gerginliği-cN) değerleri girilmektedir. T çözgü gerginlik değeri çözgünün plastik deformasyonuna neden olmayıp elastik sınırlar içerisinde yer almaktadır. Program, beslenen veriler ve belli aralıkta girilen q_1 (T/P oranını ifade eden bir sabit) değerleri için P basınç kuvvetini hesaplayarak bu basınç kuvvetinin oluşturduğu atkı ipliği eğrileri içerisinde $l_2 = s_{02}$ koşulunu sağlayan eğriyi bulmaktadır. s_{02} değeri, başlangıçta gerilimsiz olduğu kabul edilen atkı ipliği uzunluğu olup programda hesaplanmaktadır. Daha sonra, atkı ipliğine ait tezgah üzerindeki h_2 (kıvrım genliği) ve s_2 (tezgah üzerinde, örgü birimi içindeki atkı uzunluğu) parametreleri hesaplandıktan sonra çözgü ipliği için aynı P kuvveti altında başlangıçta girilen l_1 parametresini sağlayan h_1 ve s_1 değerleri hesaplanmaktadır. Bu aşamadan sonra tezgah üzerindeki kumaşın durumu belirlenmiş olmaktadır ($s_1, h_1; s_2, h_2$). Programın bundan sonraki bölümünde ise, aynı P kuvvetinin oluşturduğu atkı ve çözgü ipliği serbest eğrileri bulunarak ham kumaştaki çözgü ve atkı ipliğine ait h_{01} ve l_{01} (ham kumaşta çözgü ipliği kıvrım genliği ve iki atkı ipliği eksenleri arasındaki mesafe) ve h_{02} ve l_{02} (ham kumaşta atkı ipliği kıvrım genliği ve iki çözgü ipliği eksenleri arasındaki mesafe) parametreleri hesaplanmaktadır. Ham kumaşta kumaş parametrelerinin hesaplanmasından sonra ham kumaştaki çözgü ve atkı kıvrım değerleri eşitlik 21'e göre elde edilmiştir.

Her iki teoremin çözümünde de iplik çaplarının hesabında, dairesel iplik kesiti kabul edilerek aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$d = 0,0465 \sqrt{V_{lif} tex} \quad (22)$$

V_{lif} : lif özgül hacmi (cm^3/g) (paketlenme sabiti 0.59 olarak Peirce'in önerdiği şekilde alınmıştır).

3.3. İpliklerin Eğilme Rijitliklerinin Tespiti

Teoremin çözümünde gerekli olan ipliklerin eğilme rijitliklerinin ölçümünde, Peirce tarafından önerilen ağırlıklı halka metodu kullanılmıştır. 4.1 cm çapındaki cam tüplerin etrafı jelatin kağıdıyla kaplandıktan sonra, cam tüp üzerinde düğüm atılarak hazırlanan iplik halkaları jelatin kağıdının yardımıyla bozulmadan cam tüp üzerinden çıkarılmıştır. İplik halkaları düzgün bir yüzey üzerinde 24 saat bekletildikten sonra düzgün halkalar deney numunesi olarak ayrılmıştır. İplik halkaları, duvara sabitlenmiş bir cetvel üzerinde tesbit edilen bir kancaya asılmıştır. İplik halkasına asılan ağırlıklar yardımıyla iplik halkasının çapında meydana gelen değişim ölçülmüştür. İstenen değişimi veren ağırlıklar ise her iplik için tespit edilmiştir. Her bir iplik için 10'ar ölçüm yapılmıştır.

Uygulanan ağırlık ($w-g$), iplik halkasının çevresi ($l-cm$) ve ağırlık altında halkanın yer değiştirmesine ($d-cm$) bağlı olarak, aşağıdaki eşitlik kullanılarak ipliklerin eğilme rijitliği hesaplanmıştır.

$$EI = kw l^2 \frac{\cos \theta}{\tan \theta} \quad (\text{gcm}^2) \quad (23)$$

Burada θ değeri:

$$\theta = 493 \frac{d}{l} \quad (^\circ) \quad (24)$$

olarak verilmektedir

3.4. İpliklerin Elastisite Modüllerinin Tespiti

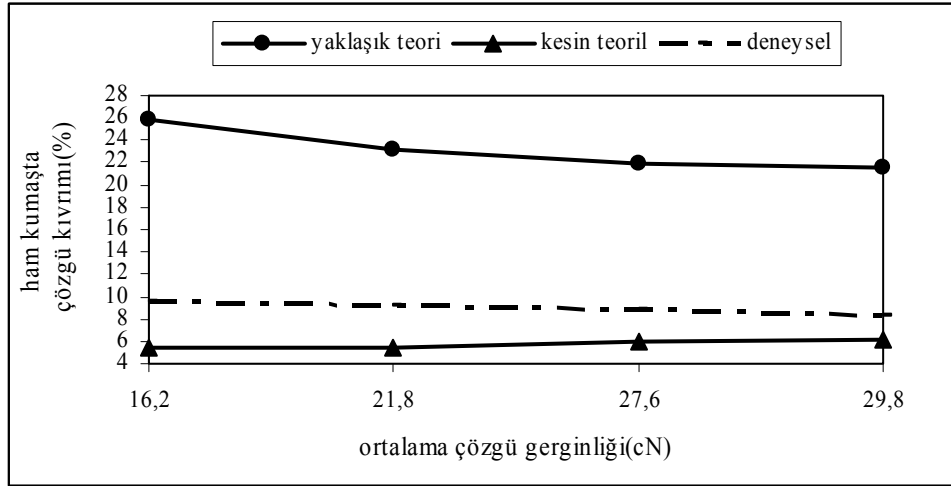
Teorinin çözümünde gerekli olan ipliklerin elastisite modüllerinin tespiti, ASTM (D 2256-88) standardına göre Instron test cihazında yapılmıştır. Çeneler arasındaki mesafe 500 mm'ye ayarlanırken, üst çenenin hızı ise iplik 20 ± 3 saniyede kopacak şekilde ayarlanmıştır. Her bir iplik için 10 'ar ölçüm yapılarak, elde edilen yük-uzama eğrilerinin doğrusal kısmından ipliklerin elastisite modülleri tespit edilmiştir. Tablo 3.'te, deneysel ve teorik çalışmada kullanılan ipliklerin eğilme rijitlikleri ve elastisite modülleri sunulmuştur.

Tablo 3.
İpliklerin Eğilme Rijitlikleri ve Elastisite Modülleri

İplik numarası	Eğilme rijitliği (gcm ²)	Elastisite Modülü (N/tex)
150 den (çözgü) (bükümlü)	0,0057	3,06
Ne 50/1(atkı)	0,0017	2,96
Ne 24/1(atkı)	0,0033	2,43

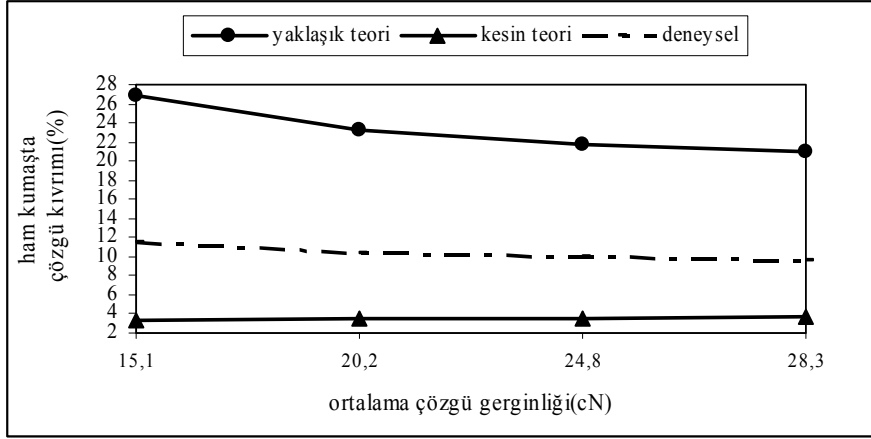
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 3. ve şekil 6. arasındaki grafiklerde, ortalama çözgü gerginliğine (tek çözgü ipliğinin ortalama gerginliği - cN) bağlı olarak yaklaşık ve kesin teoriden elde edilen ham kumaştaki çözgü kıvrım değerleri ile deneysel çalışmadan elde edilen çözgü kıvrım değerlerinin değişimi 18 ve 22 atkı/cm sıklıkta dokunan kumaşlar için gösterilmiştir.



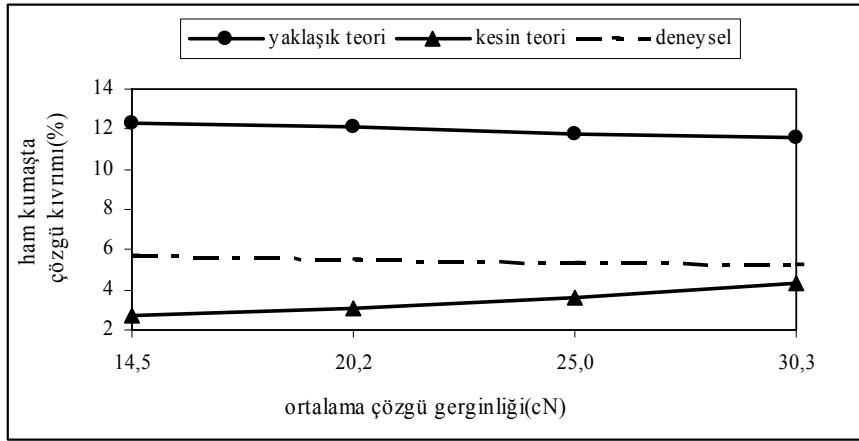
Şekil 3:

Ne 24/1 atkı ipliği ile 18 atkı/cm sıklıkta dokunan kumaşlarda yaklaşık ve kesin teori ile deneysel sonuçlardan elde edilen ham kumaştaki çözgü kıvrımı –çözgü gerginliği ilişkisi



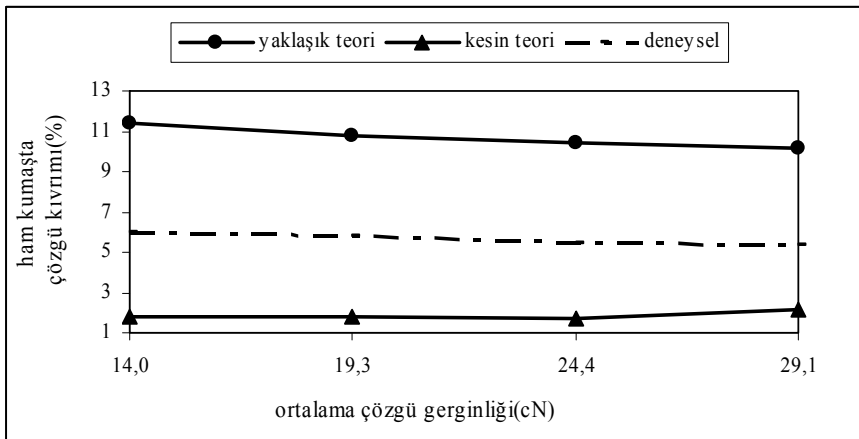
Şekil 4:

Ne 24/1 atkı ipliği ile 22 atkı/cm sıklıkta dokunan kumaşlarda yaklaşık ve kesin teori ile deneysel sonuçlardan elde edilen ham kumaştaki çözgü kıvrımı –çözgü gerginliği ilişkisi



Şekil 5:

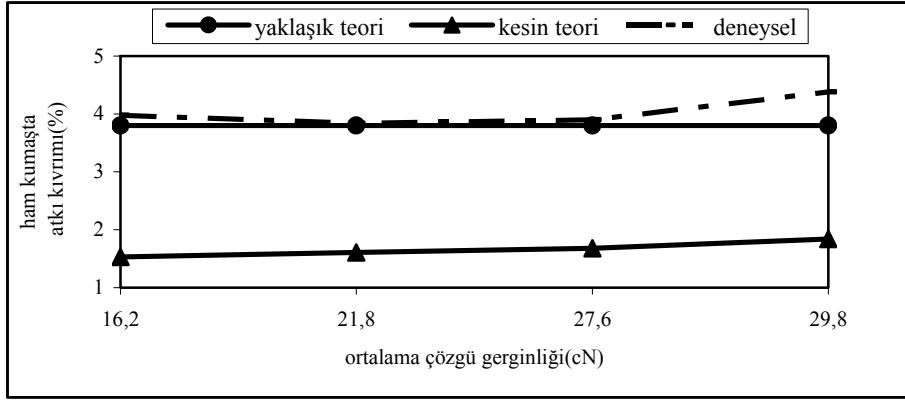
Ne 50/1 atkı ipliği ile 18 atkı/cm sıklıkta dokunan kumaşlarda yaklaşık ve kesin teori ile deneysel sonuçlardan elde edilen ham kumaştaki çözgü kıvrımı –çözgü gerginliği ilişkisi



Şekil 6:

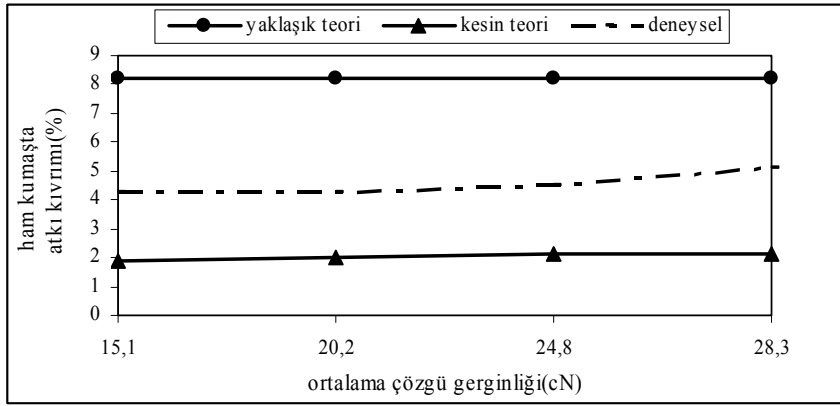
Ne 50/1 atkı ipliği ile 22 atkı/cm sıklıkta dokunan kumaşlarda yaklaşık ve kesin teori ile deneysel sonuçlardan elde edilen ham kumaştaki çözgü kıvrımı –çözgü gerginliği ilişkisi

Şekil 7. ve şekil 10. arasındaki grafiklerde ise, ortalama çözgü gerginliğine (tek çözgü ipliğinin ortalama gerginliği - cN) bağlı olarak yaklaşık ve kesin teoriden elde edilen ham kumaştaki atkı kıvrım değerleri ile deneysel çalışmadan elde edilen atkı kıvrım değerlerinin değişimi 18 ve 22 atkı/cm sıklıkta dokunan kumaşlar için gösterilmiştir



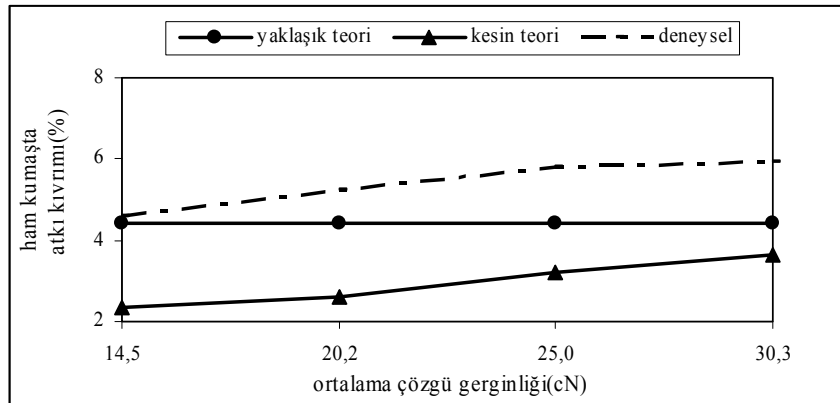
Şekil 7:

Ne 24/1 atkı ipliği ile 18 atkı/cm sıklıkta dokunan kumaşlarda yaklaşık ve kesin teori ile deneysel sonuçlardan elde edilen ham kumaştaki atkı kıvrımı - çözgü gerginliği ilişkisi



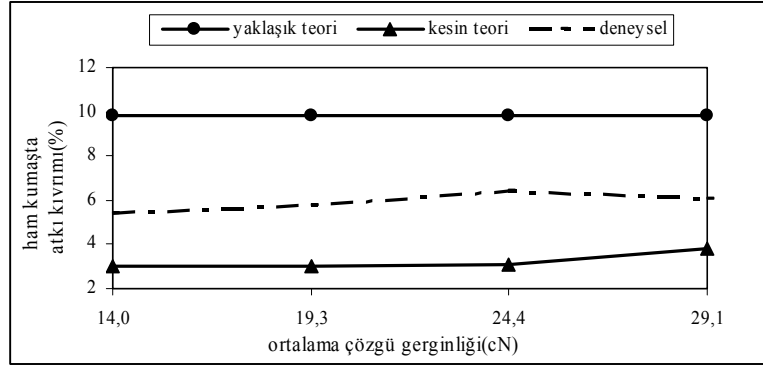
Şekil 8:

Ne 24/1 atkı ipliği ile 22 atkı/cm sıklıkta dokunan kumaşlarda yaklaşık ve kesin teori ile deneysel sonuçlardan elde edilen ham kumaştaki atkı kıvrımı - çözgü gerginliği ilişkisi



Şekil 9:

Ne 50/1 atkı ipliği ile 18 atkı/cm sıklıkta dokunan kumaşlarda yaklaşık ve kesin teori ile deneysel sonuçlardan elde edilen ham kumaştaki atkı kıvrımı - çözgü gerginliği ilişkisi



Şekil 10:

Ne 50/1 atkı ipliği ile 22 atkı/cm sıklıkta dokunan kumaşlarda yaklaşık ve kesin teori ile deneysel sonuçlardan elde edilen ham kumaştaki atkı kıvrımı –çözgü gerginliği ilişkisi

Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar, ham kumaştaki çözgü ve atkı kıvrımının çözgü gerginliğinden bağımsız olmadığını göstermiştir. Çözgü gerginliği arttıkça ham kumaştaki çözgü kıvrımının azaldığı, atkı kıvrımının ise arttığı görülmüştür. Buna göre, yüksek çözgü gerginliği altında dokunan kumaşlarda, yüksek çözgü gerginliği, kumaşa dahil olan çözgü miktarının azalmasına yol açmıştır. Böylece, yüksek çözgü gerginliği bir yandan çözgü ipliğinin kıvrım almasını engelleyerek çözgü kıvrımının düşmesine neden olurken diğer yandan da atkı ipliğini daha fazla kıvrım almaya zorlayarak ham kumaştaki atkı kıvrımının artmasına yol açmıştır.

Kesin ve yaklaşık teorisinin çözümüyle elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, çözgü gerginliğindeki artışa karşın gerek deneysel sonuçlardan gerekse yaklaşık teoriden elde edilen ham kumaştaki çözgü kıvrım değerleri düşerken kesin teoriden elde edilen ham kumaştaki çözgü kıvrım değerleri artmıştır. Ham kumaştaki atkı kıvrımı ise çözgü gerginliğindeki artış karşısında deneysel sonuçlarda ve kesin teoride artış gösterirken yaklaşık teoride bir değişim göstermemiştir.

Kesin ve yaklaşık teori için çizilen grafikler çözgü gerginliğine bağlı olarak gösterdikleri eğilime göre deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında, ham kumaştaki çözgü kıvrım değişimi açısından yaklaşık teorisinin, ham kumaştaki atkı kıvrım değişimi açısından kesin teorisinin uygun sonuçlar verdiğini söyleyebiliriz. Bu durum, çözgü gerginliğindeki değişime bağlı olarak yaklaşık ve kesin teoriden elde edilen ham kumaştaki kıvrım verileri ile deneysel veriler arasındaki korelasyon analizi sonuçlarının yer aldığı Tablo 4.'te de görülmektedir. Kesin teoriye ait ham kumaştaki çözgü kıvrım verileri ile deneysel veriler arasındaki korelasyon oldukça yüksek olmasına karşın katsayının negatif işaretli olması ilişkinin ters yönlü olduğunu göstermektedir. Yaklaşık teoriden elde edilen ham kumaştaki atkı kıvrım değerleri ise çözgü gerginliği karşısında bir değişim göstermediğinden bu teoriye ilişkin sonuçlarla deneysel sonuçlar arasında bir korelasyon analizi yapmak mümkün olmamıştır.

Tablo 4.

Kesin ve Yaklaşık Teori İle Deneysel Sonuçlar Arasındaki Korelasyon Analizi

Atkı İpliği	Ham Kumaştaki Çözgü Kıvrımı İçin Korelasyon Katsayısı (r)				Ham Kumaştaki Atkı Kıvrımı İçin Korelasyon Katsayısı (r)			
	Yaklaşık Teori		Kesin Teori		Yaklaşık Teori		Kesin Teori	
	18 atkı/cm	22 atkı/cm	18 atkı/cm	22 atkı/cm	18 atkı/cm	22 atkı/cm	18 atkı/cm	22 atkı/cm
Ne 24/1	0,93	0,99	-0,90	-0,99	---	---	0,79	0,65
Ne 50/1	0,97	0,95	-0,94	-0,67	---	---	0,95	0,64

Kesin teoride, ham kumaştaki çözgü kıvrımının gerginliğe bağlı olarak artış göstermesinin sebebi şu şekilde açıklanabilir: Kesin teorisinin çözümü çok fazla sayıda değişkenin belli sınırlar içerisinde tanımlanmasına ve fazla sayıda koşulun sağlanmasına dayanmaktadır. Dolayısıyla, her bir çözgü gerginliği değeri için program çalıştırıldığında bütün bu koşullara ve değişkenlere bağlı olarak sağlanan ortak çözüm aralığında da büyük değişimler olabilmektedir. Bu da, ham kumaştaki çözgü kıvrımı üzerine çözgü gerginliğinin etkisinin net olarak görülememesine neden olabilir. Diğer yandan, yaklaşık teoride ham kumaştaki çözgü kıvrım değerlerinin yüksek olması, Başer (1982)'in de belirttiği gibi

bu teorilerin büzülme olayının mükemmel bir şekilde gerçekleştiği varsayımına dayanmasından kaynaklanabilir. Bir başka deyişle, atkı ve çözgü iplikleri arasındaki sürtünme kuvvetlerinin ipliklerin ilk boylarına dönmesini engellemediği varsayılmıştır. Ayrıca, yaklaşık teoride çözgü gerginliğindeki değişim karşısında tezgah üzerindeki kumaşta ve ham kumaşta atkı kıvrım değerlerinin sabit kalması ise bu teoride başlangıçta kabul edilen “ atkı ipliğinin gerilimsiz olarak ağızlığa atıldığı “ varsayımının bir sonucu olabilir. Dolayısıyla, bu teoride çözgü gerginliğinin ham kumaştaki atkı kıvrımı üzerine bir etkisi söz konusu olmamıştır. Bunlara ilave olarak, özellikle ipliklere ait eğilme rijitliklerinin ölçüm yönteminin hassasiyetinin düşük olmasından, ölçüm sırasında yapılabilecek hatalardan kaynaklanan durumların ve teorilerde kullanılan iplik çaplarının ölçüm yöntemiyle değil de hesap yoluyla bulunması da teorik ve deneysel sonuçlar arasındaki farklılığa yol açması mümkündür.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, ham kumaştaki kıvrım oluşumuyla çözgü gerginliği arasındaki ilişki, Başer (1982)'e ait yaklaşık ve kesin teorilerin çözümü yapılarak incelenmiş, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bunun için, farklı çözgü gerginlik değerlerinde, farklı atkı ipliği numaralarında ve atkı sıklıklarında kumaşlar dokunmuştur. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar, çözgü gerginliği arttıkça ham kumaşta çözgü kıvrımının azaldığı, atkı kıvrımının ise arttığını göstermiştir. Kesin ve yaklaşık teoriden elde edilen sonuçlar, çözgü gerginliğindeki artışa bağlı olarak gösterdikleri eğilime göre deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında, ham kumaştaki çözgü kıvrım değişimi açısından yaklaşık teorinin, ham kumaştaki atkı kıvrım değişimi açısından kesin teorinin uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu durum, çözgü gerginliğindeki değişime bağlı olarak yaklaşık ve kesin teoriden elde edilen ham kumaştaki kıvrım verileri ile deneysel veriler arasındaki korelasyon katsayılarında da gözlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. ASTM standards specifications (1999) IS: ASTM D3883-04 (ASTM International, West Conshohocken, USA).
2. Başer, G. (1982) *Tezgahta Oluşan Kumaş Yapısının Belirlenmesi ve Dokuma Sonrası Boyut Değişimlerinin Analitik Yöntemlerle İncelenmesi Üzerine Araştırmalar*, Doçentlik Tezi, Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, İzmir, 183 s.
3. Chahal, V., Mohamed, H. (1986) Measuring Filling Yarn Tension and Its Influence on Fabrics Woven on Projectile Weaving Machine, *Textile Research Journal*, 56(5):324-333.
4. Eren, R. (1993) *An Integrated Electronic Control of Take-up and Let-off Motions in a Weaving Machine*, Ph.D thesis, UMIST, Manchester.
5. Hamilton, J.B. (1964) A General System of Woven Fabric Geometry, *Journal of the Textile Institute*, 55: 66-82.
6. Kawabata, S., Masako, N., (1973) Kawai, H. The Finite Deformation Theory of Plane-Weave Fabrics. Part II: The Uniaxial-Deformation Theory, *Journal of the Textile Institute*, 64(2): 47-61.
7. Kemp, A. (1958) An Extension of Pierce's Cloth Geometry to the Treatment of Non Circular Threads, *Journal of the Textile Institute*, Vol:49.T44.
8. Leaf, G.A.V., Anandjiwala, R.D. (1985) A Generalized Model of Plain Woven Fabrics, *Textile Research Journal*, 55:92-99.
9. Olofsson, B. (1964) A General Model of a Fabric As a Geometric-Mechanical Structure, *Journal of the Textile Institute*, 55(11): 541-557.
10. Özkan, G., (2007) Bezayağı Dokuma Kumaşlarda Çözgü Gerginliği ile Çözgü ve Atkı Kıvrımı Arasındaki İlişkinin Deneysel Olarak Araştırılması, *Tekstil ve Mühendis*, 13(62-63):22-27.
11. Peirce, F.T. (1937) Cloth Geometry, *Journal of the Textile Institute*, Vol:28(3). p 45-96.