

# SÜPREM KUMAŞLARDA PATLAMA MUKAVEMETİ DEĞERİNİN TAGUCHI ORTOGONAL DİZAYNA GÖRE OPTİMİZASYONU

## OPTIMIZATION OF BURSTING STRENGTH OF SINGLE JERSEY FABRICS WITH TAGUCHI ORTHOGONAL DESIGN

Serin MEZARCIÖZ  
Çukurova Üniversitesi  
Tekstil Mühendisliği Bölümü  
e-mail: smavruz@cu.edu.tr

R. Tuğrul OĞULATA  
Çukurova Üniversitesi  
Tekstil Mühendisliği Bölümü

### ÖZET

Bu çalışmada Taguchi ortogonal dizayna göre süprem kumaşların patlama mukavemeti değerinin optimizasyonu amaçlanmıştır. Taguchi tasarımına göre deneyler, L9 ortogonal dizaynına göre 9 adet deneme ile gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde varyans analizi ve sinyal/gürültü oranı kullanılmıştır. Tam faktöriyel deney tasarımında gereken deney sayısının sadece üçte biri ile (27 yerine 9 deney) hedeflenen sonuçların elde edilmesi mümkün olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Süprem kumaş, Örme kumaş, Patlama mukavemeti, Deneysel tasarım, Taguchi dizayn.

### ABSTRACT

In this study, it was aimed to optimize the bursting strength of single jersey fabrics with Taguchi orthogonal design. The experiments were performed by using L9 orthogonal matrix with respect to Taguchi approach. Analysis of variance (ANOVA) and signal/noise ratio were used to evaluate the experiment results. In the case of full factorial design, it is necessary to perform 27 experiments to find out the optimum configuration but by using Taguchi approach, this was lower to 9 experiments.

**Key Words:** Single jersey fabric, Knitted fabric, Bursting strength, Experimental design, Taguchi design.

Received: 11.12.2009

Accepted: 02.08.2010

### 1. GİRİŞ

Örme kumaşların kullanım yerindeki en önemli performans özelliklerinden birisi patlama mukavemetidir. Patlama mukavemeti, kumaşı gererek kopartmak için belirli şartlar altında kumaş yüzeyine dik açı ile uygulanan kuvvettir. Kumaşların patlama mukavemetinde iplik mukavemeti, ipliklerin esnekliği ve kumaş yapısı, numune davranışını belirleyen en önemli faktörlerdendir. Örme kumaşlarda ilmek ve çubuk yönlü kopma mukavemetini ölçmek çok sağlıklı test sonuçları vermemekte, bu nedenle çok yönlü kuvvetlere karşı mukavemet tayinini yapan patlama mukavemeti testi örme kumaşlarda oldukça önemli olmaktadır (1).

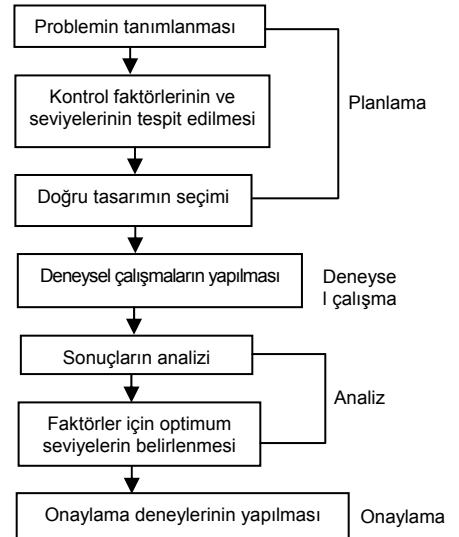
Endüstride süreç gelişimi araştırmalarında yapılan deneyleri tasarlamak için, en çok bilgiyi en kısa sürede, en

az maliyet ve işgücüyle elde eden çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Deney tasarımı için klasik sayılabilecek bazı yöntemlerin zorlukları, bu konuda yeni çalışmaların yapılmasına neden olmuştur. 1980 ve sonrası özellikle ürün geliştirmede kullanılan Taguchi yöntemi bu çalışmalardan birisi olarak kabul edilmektedir (2).

Taguchi metodu, üründe ve proseste, değişkenliği oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerinin en uygun kombinasyonunu seçerek, ürün ve prosesteki değişkenliği en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım metodudur (3, 4). Bu metod; ürünlerin kalitesinin iyileşmesinde etkili olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkanı vermektedir. Bunun yanında felsefe olarak, kalitenin tasarım ve proseste sağlanmasını öngörmektedir (3).

Taguchi yönteminin uygulanması dört aşamada gerçekleştirilmekte olup, izlenecek olan adımlar Tablo 1'de gösterilmektedir (4-6).

**Tablo 1.** Taguchi metodunun uygulama çizelgesi



Taguchi metodu proses geliştirmede üç aşamayı içermektedir. Bunlar; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır. Sistem tasarımı bilimsel ve mühendislik prensipleri kullanılarak temel konfigürasyon belirlenir. Parametre tasarımı, sistem parametrelerinin spesifik değerleri belirlenir. Tolerans tasarımı ise, hedef tasarım parametre değerleri için kabul edilebilir toleranslar değerlendirilir (7-9). Taguchi tasarımı, gürültü faktörleri de denilen istenmeyen ve kontrol edilemeyen faktörlerden mümkün olduğunca etkilenmeyen bir sistem tasarlanmaya çalışılmakta, kontrol edilebilen faktörlerin uygun şekilde seçilmesi ile sistemin kontrol edilemeyen gürültü faktörlerinden etkilenmemesi sağlanmaktadır. Ayrıca yapılan deney sayısının da oldukça az olması dikkat çekicidir (10).

Taguchi yöntemi bir tür kesirli faktöriyel tasarım olup, deneylerin tüm kombinasyonlarının denenmesi yerine ortogonal dizinleri kullanarak sadece bir bölümünün yapılması ile en iyi performans karakteristiğini veren faktör seviyelerinin bulunabileceğini belirtmektedir. Ortogonal dizinler bir sayı matrisi olarak ifade edilir. Her satır seçilen faktörlerin seviyelerini, her sütün ise dikkate alınan faktörleri ifade eder.

Ortogonal dizinlerin temel özelliği, deneye tüm faktörlerin eşit deneme sayıları ile katılmalarıdır.  $L_a(b^c)$  şeklinde gösterilen ortogonal dizinler Latin kare tasarımından türetildiği için L, Latin kare tasarımını temsil etmektedir. "a" deneylerin sayısını, "b" her kolondaki seviye sayısını, "c" ise faktör sayısını ifade etmektedir. Yapılan deney tasarımına ve amaca göre genellikle 2 ve 3 seviyeli ortogonal dizinler kullanılmaktadır. En çok kullanılan 2 seviyeli ortogonal dizinler  $L_4$ ,  $L_8$ ,  $L_{12}$  ve  $L_{32}$ 'dir. En çok kullanılan 3 seviyeli dizinler ise  $L_9$ ,  $L_{18}$ ,  $L_{27}$ 'dir. Her iki seviyenin karışık olarak kullanılabil-diği  $L_{18}$ ,  $L_{36}$ ,  $L_{54}$  gibi ortogonal dizinler de vardır. şekil 1'de 2 seviyeli  $L_4(2^3)$  ve 3 seviyeli  $L_9(3^4)$  ortogonal dizinler gösterilmektedir (11).

		Faktörler		
		A	B	C
Deneyler	1	1	1	1
	2	1	2	2
	3	2	1	2
	4	2	2	1

$L_4(2^3)$

		Faktörler			
		A	B	C	D
Deneyler	1	1	1	1	1
	2	1	2	2	2
	3	1	3	3	3
	4	2	1	2	3
	5	2	2	3	1
	6	2	3	1	2
	7	3	1	3	2
	8	3	2	1	3
	9	3	3	2	1

$L_9(3^4)$

şekil 1.  $L_4(2^3)$  ve  $L_9(3^4)$  ortogonal dizinleri

Taguchi yöntemine göre dizayn edilen tasarımdan elde edilen sonuçlar sinyal/gürültü (S/N) oranına dönüştürülmekte ve desibel (dB) olarak ifade edilmektedir. Sinyal değeri sistemin verdiği ve lmlen istenen gerçek değeri, gürültü faktörü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını temsil etmektedir.

S/N oranı; kk değer iyi, büyük değer iyi ve nominal değer iyi gibi hedeflenen değere göre farklı formüllerle hesaplanmaktadır. Söz konusu formüller aşağıda verilmiştir.

Kk değer iyi (Hedef en düşük değere ulaşmaktır. İplik tüylülüğü, aşınma vb.).

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (1)$$

Büyük değer iyi (Hedef en yüksek değere ulaşmaktır. Mukavemet, hava geçirgenliği, vb.)

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (2)$$

Burada; n; deney sayısı,  $y_i$  ise her bir gözlemin ölçülen değeridir.

Nominal değer iyi (Hedef nominal bir değere ulaşmaktır. rn boyutu, nem değeri, vb.).

$$S/N = 10 \log \left[ \frac{\bar{y}^2}{s^2} \right] \quad (3)$$

Burada  $\bar{y}$  ; performans karakteristiklerinin ortalaması, s ise y değerlerinin standart sapmasıdır.

S/N oranı formüllerinden hangisi kullanılırsa kullanılsın, deneysel tasarımda faktör seviyeleri içerisinde en yüksek S/N oranına sahip olan değer en iyi performansı sağlayan değerdir. Bu çalışmada büyük değer iyi yaklaşımı kullanılacaktır. Taguchi metodu ile ilgili daha geniş bilgiler birçok kaynakta anlatılmaktadır (5, 11, 12).

Taguchi deneysel tasarım tekniğinin tekstilde uygulanması ile ilgili yapılan çalışmalar oldukça yeni olup, aşağıda sıralanmıştır.

Liasi ve diğerleri (1999), döşemelik kumaşlar gibi dikilmiş ağır materyallerdeki iğne ısınmasına etki eden faktörleri Taguchi dizaynı kullanarak tespit etmişlerdir (13). Cheng ve Li (2002), Jetring iplik eğirme sisteminde, farklı eğirme parametrelerinin iplik tyllğne etkisini  $L_{16}$  Taguchi ortogonal dizaynını kullanarak açıklamışlardır (14). Park ve Ha (2005), dikiş buruşmasını minimize edecek dikiş şartlarını optimize etmek için, iki farklı polyester/pamuk karışımlı kumaşa  $L_9$  ortogonal dizaynına göre Taguchi deneysel tasarım metodunu uygulamışlardır (7).

Ishtiaque ve diğerleri (2006), yapmış oldukları birak çalışmada, ring, rotor ve hava jetli iplik üretim sistemlerinden elde edilmiş ipliklerin bazı özelliklerine, eğirme proseslerindeki seçilmiş faktörlerin etkisini Taguchi dizaynına göre incelemişlerdir (15-20). Cho ve Jeong (2006), çalışmalarında polyester ipliğin kopma dayanımını, eğirme şartları ve ipliğin diğer özelliklerinden yararlanarak Taguchi metoduyla tahminlemeye çalışmışlardır (21). Webb ve diğerleri (2007), Taguchi metodu ile Nylon 66 ipliklerinin düğümlenme (splicing) koşullarının optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir (22). Zeydan (2008), jakarlı dokuma kumaşların ozg yn mukavemet değerine etki eden elyaf, iplik ve kumaş parametrelerini; nal ve diğerleri (2009) ise paraşüt uygulamalarında kullanılan ağları dikiş mukavemetine, bazı kumaş ve dikiş parametrelerinin etkisini Taguchi deneysel tasarım ve yapay sinir ağları metotlarıyla karışılaştırmalı olarak incelemişlerdir (8, 23).

Bu çalışmada, öncelikle neden-sonuç diyagramından süprem kumaşların patlama mukavemetine etki eden parametreler seçilmiş ve söz konusu parametreler Taguchi ortogonal dizayna göre planlanıp, analiz ve doğrulama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

### Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

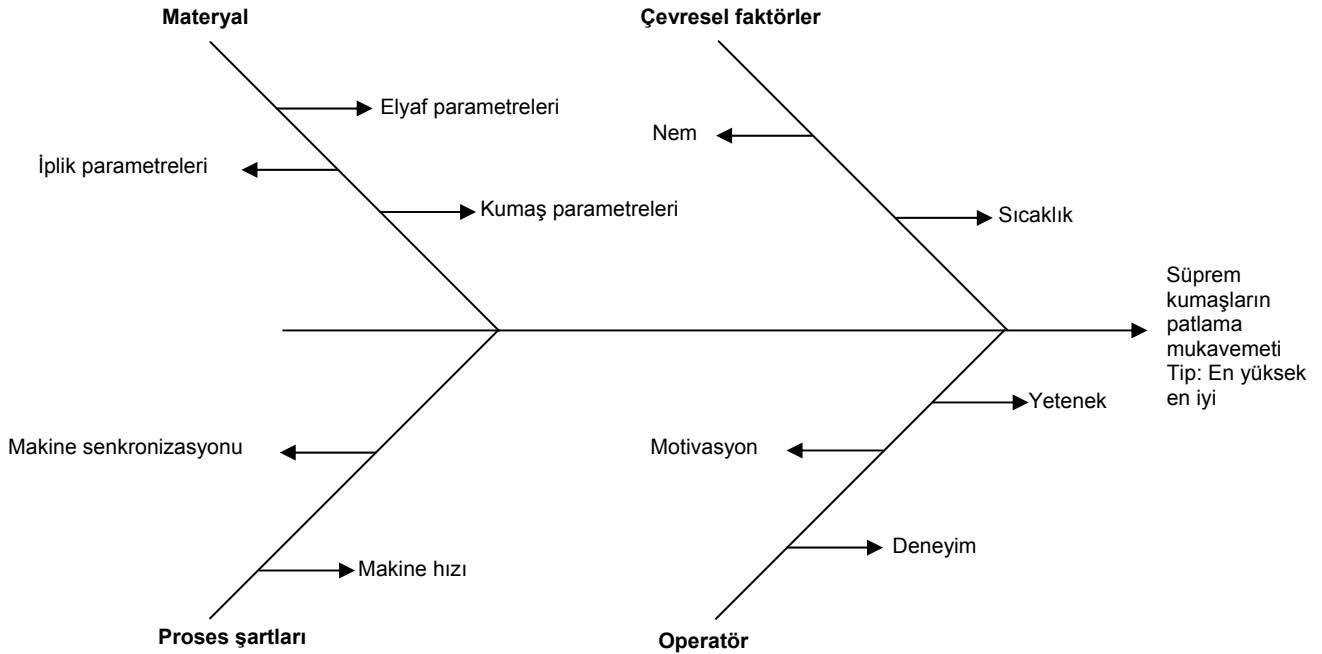
Örme kumaşlarda patlama mukavemeti değerinin maksimize edilmesinin amaçlandığı bu çalışmada, patlama mukavemetine etki eden parametreler; "materyal, çevresel faktörler, çalışma şartları ve operatör" faktörleri olabilmektedir (Şekil 2). Çalışma kapsamında materyal ile ilgili olan faktörler (elyaf, iplik ve kumaş parametreleri) temel olarak ele alınacak ve bu faktörler önemli girdiler olarak kabul edilecektir. Diğer parametreler ise sabit olarak değerlendirilecektir.

Bilindiği gibi; örme işlemi sırasında kumaşa uygulanan gerilimler nedeniyle ilmek boyu artar, genişliği azalır, yani

ilmek şekli değişir. Örme işlemi tamamlanıp, kuvvetler ortadan kalktıktan sonra, ilmekler doğal şekline dönmeye çalışırlar. İlmek şeklindeki bu değişim örme kumaşa da yansır ve kumaşın şekli değişir. Bu değişime kumaş relaksasyonu denir. Araştırmacılar tarafından kuru, yaş, yıkama, tam (full) ve endüstriyel relaksasyonlar tanımlanmıştır (24-28). Farklı relaksasyon şartları, örme kumaşlar üzerinde farklı kimyasal ve mekanik etkiler oluşturmaktadır. Bu etkiler, örme kumaşı oluşturan ilmeklerin yapısal özelliklerinde de değişikliğe sebep olup, sonuç olarak kumaşların fiziksel ve performans özelliklerinde bazı farklılıklar oluşturabilmektedir. İplik üretim tipi, ipliklerin fiziksel özelliklerini etkilemekte, bu ipliklerden üretilen örme kumaşların özellikleri de farklı olabilmektedir. İlmek iplik uzunluğu da örme kumaş performansına etki etmekte, bir ilmeğe harcanan iplik miktarı arttıkça yapı seyrekleşmekte ve gramajı azalmaktadır.

Sonuç olarak; relaksasyon türü, iplik türü ve ilmek iplik uzunluğu örme kumaşların patlama mukavemetine etki eden kontrol faktörleri olarak tespit edilmiş olup, iplik türü patlama mukavemetine etki eden iplik parametresi, relaksasyon türü ve ilmek iplik uzunluğu ise patlama mukavemetine etki eden kumaş parametreleri olarak ele alınmıştır.

Kontrol faktörleri tespit edildikten sonra, her bir faktörün seviyelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Relaksasyon türü olarak; kuru relaksasyon, yıkama relaksasyonu ve yıkama işleminin 5 kez tekrarlanarak tam relaksasyonun sağlandığı relaksasyon işlemleri seçilmiştir. İplik türü olarak piyasada yaygın olarak kullanılan; ring, kompakt ve open end ipliklerinin değerlendirilmesine karar verilmiş olup, ilmek iplik uzunluğu olarak ise 0.25 cm, 0.28 cm ve 0.32 cm seçilmiştir. Sonuç olarak her bir kontrol faktörü üç seviyeli olarak ele alınacaktır.



Şekil 2. Neden-sonuç diyagramı

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Kontrol faktörleri ve seviyeleri belirlendikten sonra, %100 pamuklu Ne 30/1 ring, kompakt ve open end iplikler birbirlerine çok yakın makine ayarlarında üretilmiştir. İpliklere ait bazı özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Taguchi yöntemine göre, kullanılan üç farklı parametre ve her bir parametrenin üç farklı seviyesi (Tablo 2) için Taguchi'nin  $L_9$  standart ortogonal

dizisi seçilmiştir ve bu tasarım 9 adet deneysel çalışma gerektirmektedir (Tablo 3) (11).

Kumaşlar üretildikten sonra Tablo 3'de verilen dizayna uygun olarak yapılan relaksasyon işlemleri aşağıda açıklanmıştır.

**Kuru relaksasyon:** Makineden alınan örgü, düz ve pürüzsüz bir yüzey üzerinde standart atmosfer şartlarında 1 hafta bekletilmiştir. **Yıkama relaksas-**

**yonu:** Kuru relaksasyonlu kumaşlar, ev tipi çamaşır makinesinde 30°C sıcaklıkta, 0,05 g/l ıslatıcı ilavesiyle 45 dakika yıkandıktan sonra düz bir yüzey üzerinde standart atmosfer şartlarında 1 hafta bekletilmiştir. **Tam (full) relaksasyon:** Yıkama relaksasyonu işlemi 5 kez tekrarlanmıştır. Bu işlem neticesinde kumaşın tam relaksasyonunun sağlandığı ve boyutlarının değişmez hale geldiği düşünülmektedir.

Tablo 1. Kullanılan iplik özellikleri

Parametreler	Konvansiyonel ring iplik	Kompakt iplik	Open end iplik
	Ne 30	Ne 30	Ne 30
İplik Ne	29,36	29,36	28,80
U%	9,20	9,05	12,11
CVm %	11,60	11,40	15,23
İnce yer (-50%)/km	0,3	0,0	59,2
Kalın yer (+50%)/km	7,1	6,6	75,3
Neps (+200%)/km	63,1	10,7	16,1
Tüylülük	6,62	4,34	5,17
Kopma kuvveti (gf)	354,1	381,9	226,2
Kopma uzaması (%)	5,04	5,31	4,39
Rkm (kgf*Nm)	17,51	18,88	11,03
Kopma işi (gf.cm)	482,7	535,6	283,2

Tablo 2. Kontrol faktörleri ve seviyeleri

Faktörler	Gösterim	Seviyeler		
		1	2	3
Relaksasyon türü	A	Kuru	Yıkama	Tam
İplik türü	B	Ring	Kompakt	Open end
İlmeç iplik uzunluğu	C	0.25	0.28	0.32

Tablo 3. Taguchi  $L_9$  ortogonal dizaynı

Deneme no	Parametreler		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

$L_9$  dizaynına göre üretilen kumaşlara BS EN ISO 13938-2 standardına göre patlama mukavemeti testi, diyafram metodu ile çalışan patlama mukavemeti cihazında uygulanmıştır (29). Patlama mukavemeti deneyi kumaşın 5 farklı yerinde tekrarlanmış ve değerler kPa cinsinden ifade edilmiştir. Tüm testler standart atmosfer şartlarında (% 65±2 bağıl nem ve 20±2 °C sıcaklık) gerçekleştirilmiştir.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

Taguchi deney tasarımına göre,  $L_9(3^3)$  ortogonal dizini kullanılarak belirlenen deney konfigürasyonu, her deney için ölçülen ortalama patlama mukavemeti

değeri ve denklem 2 (büyük değer iyi) ye göre hesaplanan S/N sonuçları Tablo 4'de verilmiştir.

Bir sonraki aşamada ise her faktörün her seviyedeki etkisinin araştırılması gerekir. Bunun için Tablo 4'de verilen S/N oranlarının ortalaması her faktörün her bir seviyesi için ayrı ayrı alınır. Örnek olarak; iplik üretim türünün kompakt olduğu ikinci seviyeye ait oranı belirlemek için 2, 5 ve 8 numaralı denemeler için hesaplanan S/N oranlarının ortalaması alınmalıdır. Tablo 5'de tüm faktörler ve seviyeler için bu şekilde hesaplanmış ortalama S/N oranları verilmiştir.

Tablo 5'de bulunan parametrelerin en büyük değerlerinin sahip olduğu sevi-

ye, o parametrenin en iyi seviyesine, yani patlama mukavemetinin en yüksek olduğu deney sonucuna işaret etmektedir. Hesaplanan bu değerler her bir parametre için Şekil 3'de grafik olarak gösterilmiştir.

Şekil 3 incelendiğinde; iplik türünün patlama mukavemeti değeri üzerinde daha büyük etkiye sahip olduğu görülmekte olup, genel olarak faktör etkileri birbirlerine yakın değerdedir. Sonuç olarak, S/N oranlarının en yüksek olduğu daire içerisindeki değerler optimum tasarımı vermekte olup, söz konusu bu tasarım  $A_2B_2C_1$  olarak belirlenmiş ve ilgili parametreler aşağıda listelenmiştir (Tablo 6).

**Tablo 4.** Taguchi ortogonal dizayna göre yapılan deneylerin sonuçları ve S/N değerleri

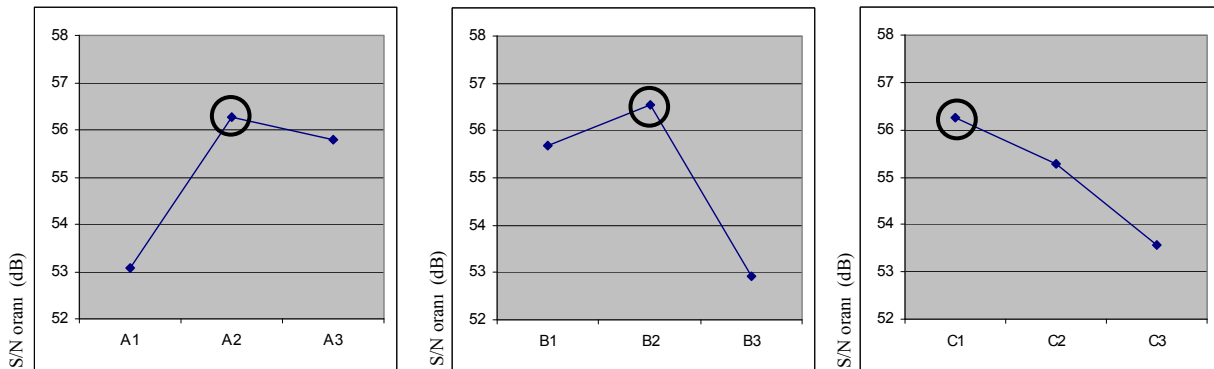
Deneme no	Faktörler ve seviyeleri			Ortalama patlama mukavemeti değeri (kPa)	S/N oranı (dB)
	A	B	C		
1	KR	R	0.25	571,84	55.12
2	KR	K	0.28	568,42	55.00
3	KR	OE	0.32	289,00	49.05
4	YR	R	0.28	687,78	56.73
5	YR	K	0.32	670,20	56.52
6	YR	OE	0.25	601,70	55.59
7	TR	R	0.32	578,26	55.18
8	TR	K	0.25	802,66	58.08
9	TR	OE	0.28	508,44	54.11

KR: Kuru relaksasyon, YR: Yıkama relaksasyonu, TR: Tam relaksasyon, R: Ring, K: Kompakt, OE: Open end

**Tablo 5.** Parametre seviyelerinin S/N oranları

Faktörler	Ortalama S/N (dB)			
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	$\Delta E$ (Maks-Min)
A- Relaksasyon türü	53,06	56,28*	55,79	3,22
B- İplik türü	55,68	56,53*	52,91	3,62
C- İlmek iplik uzunluğu	56,26*	55,28	53,58	2,68

\*: Optimum parametre seviyesi



**Şekil 3.** Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi- Faktör A (Relaksasyon türü), Faktör B (İplik türü), Faktör C (İlmek iplik uzunluğu)

**Tablo 6.** Optimum parametreler

Faktör (seviye)	Değer
A (2)	Yıkama relaksasyonu
B (2)	Kompakt
C (1)	0,25

**Varyans Analizi (ANOVA)**

İstatistik bilim dalında varyans analizi (veya ANOVA) gözlenen varyansı çeşitli kısımlara ayırma yöntemiyle bazı değişkenlerin başka bir değişken üzerindeki etkisini incelemeye yarayan bir grup modelleme türüdür (30). Elde edilen sonuçların istatistiksel olarak güvenilirliğini test etmek ve kontrol faktörlerinin patlama mukavemetini ne ölçüde etkilediğini tespit edebilmek için S/N oranlarından faydalanılarak Design-Expert 6.0.1 programı kullanılarak  $\alpha = 0,05$  anlamlılık seviyesinde varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır (Tablo 7).

Tablo 7'deki değerler incelendiğinde (p) değerinin 0,05'in altında olması söz konusu değerlendirilen faktörün sonuç değer üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğunu gösterdiğinden, A ve B olarak ifade edilen relaksasyon türü ve iplik türünün patlama mukavemeti üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca modelin  $R^2$  değeri 0,98 olup, açıklayıcılık gücü oldukça yüksektir. % etki olarak belirtilen ve her faktörün yüzde olarak toplam değişkenlik üzerindeki etkisini gösteren değerler incelendiğinde; örme kumaşlarda patlama mukavemeti üzerinde en önemli etkinin (% 41,73) iplik türüne (B) ait olduğu, bunu sırasıyla relaksasyon türünün (A, %35,24) ve ilmek iplik uzunluğu (C, % 21,47)'nin izlediği görülebilmektedir.

**Doğrulama Deneyleri**

Taguchi tasarımına göre, incelenen her faktör için optimum performansa (en yüksek patlama mukavemetine) ulaşılmasını sağlayacak olan seviyeler, S/N oranları içerisinde her faktör için en büyük değer olduğu seviyenin alınması ile  $A_2B_2C_1$  olarak tespit edilmiştir. Ancak  $L_9$  deney tasarımı içerisinde bu noktada deney yapılmamıştır. Matematiksel olarak bu seviye için beklenen S/N oranı ile patlama mukavemeti değeri hesaplanabilmektedir.

Denklem 4 kullanılarak yapılan bu hesaplamada her faktörün optimum seviyesi için hesaplanan S/N oranı ( $\eta_i$ ), tüm deney sonuçlarının ortalaması alınarak bulunan S/N oranından ( $\eta_m$ ) çıkartılarak o faktörün optimum seviyesi ile oluşan değişim hesaplanmış olmaktadır. Daha sonra bu değerlerin ortalama S/N oranı ile toplanması, teorik olarak hesaplanan ve optimum seviyelerin kombinasyonundan beklenen S/N oranını vermektedir (5, 11).

$$\eta_{opt} = \eta_m + \sum_{i=1}^j (\eta_i - \eta_m) \quad (4)$$

Burada;  $j$  = kontrol faktörlerinin sayısı,  $\eta_{opt}$  = tahmin edilen optimum S/N oranı,  $\eta_m$  = S/N değerlerinin aritmetik ortalaması,  $\eta_i$  =  $i$  sayılı faktörün optimum seviyesinin ortalama S/N oranı'dır.

$A_2B_2C_1$  optimum seviyesi için hesaplanan S/N oranı

$$\eta_{opt} = \eta_m + (\eta_{A_2} - \eta_m) + (\eta_{B_2} - \eta_m) + (\eta_{C_1} - \eta_m) \quad (5)$$

$\eta_{A_2}$  = A faktörünün 2.seviyesine ait S/N oranlarının aritmetik ortalaması

$\eta_{B_2}$  = B faktörünün 2.seviyesine ait S/N oranlarının aritmetik ortalaması

$\eta_{C_1}$  = C faktörünün 1.seviyesine ait S/N oranlarının aritmetik ortalaması olmak üzere

$\eta_{opt}$  = 58,99 (dB) olarak bulunur.

Eğer S/N değerleri biliniyorsa geriye dönük olarak yapılacak işlemlerle beklenen performans değeri hesaplanabilmektedir (5, 31).

Söz konusu değer (58,99), denklem 2'ye göre yerleştirildiğinde elde edilen sonuç 877 olmaktadır. Yani, tahmin edilen S/N oranı üzerinden yapılan hesaplama ile optimum deney kombinasyonu için tespit edilen (tahmin edilen) optimum patlama mukavemeti 877 kPa'dır. Aynı formül ile deney yapılmayan diğer kombinasyonlar için de teorik olarak beklenebilecek olan patlama mukavemeti değerleri hesaplanabilmektedir.

Tespit edilen optimum tasarım olan  $A_2B_2C_1$ 'e uygun olarak kumaş üretimi gerçekleştirilmiştir (Kompakt iplikten 0,25 cm ilmek iplik uzunluğunda üretilmiş ve yıkama relaksasyonlu). Söz konusu kumaşın patlama mukavemeti değerleri 5 ölçümün ortalaması alınarak 843,4 kPa olarak belirlenmiştir (Tablo 8). Bu deneysel sonuç aynı tasarımın Taguchi yöntemiyle elde edilen tahminine oldukça yakındır.

Başlangıç dizaynı  $A_1B_1C_1$  kabul edilerek bu dizayna göre de performans ölçümleri gerçekleştirilmiş ve S/N oranı belirlenmiştir (Tablo 8). Hem başlangıç, hem de optimum dizayndan elde edilen S/N oranlarına göre Taguchi yönteminin sağladığı kazanç Tablo 9'da görülebilmektedir.

**Tablo 7.** Taguchi ortogonal dizayn için ANOVA tablosu

Faktör	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F değ.	Prop>F	%Etki
Model	50,56	6	8,43	21,01	0,0461 significant	
A	18,10	2	9,05	22,56	0,0424	35,24
B	21,43	2	10,72	26,71	0,0361	41,73
C	11,03	2	5,51	13,75	0,0678	21,47
Artık	0,80	2	0,40	-	-	1,56
Toplam	51,36	8	-	-	-	100,00
Modelin $R^2$ değeri: <b>0,98</b>						

**Tablo 8.** Optimum ve başlangıç tasarım sonuçları

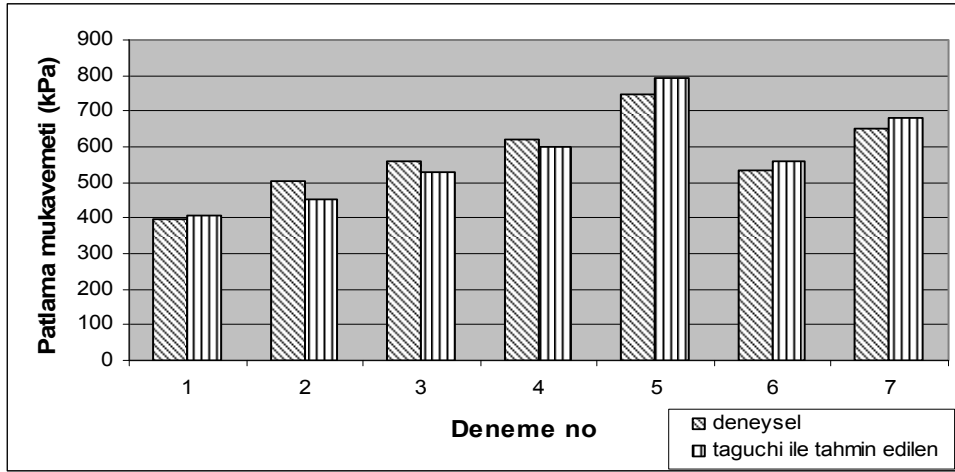
Tasarım	Performans değeri (kPa)					Ortalama	S/N (dB)
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub> (optimum)	834,7	850,0	847,2	835,3	850,0	843,4	58,52
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub> (başlangıç)	548,1	597,0	589,0	536,1	589,0	571,8	55,12

**Tablo 9.** Optimum tasarım sonucu elde edilen kazanç değerleri

	Tahmin	Doğrulama
	S/N	S/N
Başlangıç tasarımı	54,92	55,12
Optimum tasarım	58,99	58,52
Kazanç	4,07	3,40

**Tablo 10.** Ölçülen ve Taguchi tasarımına göre tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması

Deneme no	A	B	C	Deneysel (ölçülen)	Taguchi dizayna göre tahmin edilen (hesaplanan)	% Bağıl hata
1	1	3	1	396,50	404,89	2,12
2	1	2	3	504,80	451,75	10,51
3	2	3	2	559,70	527,04	5,83
4	2	1	3	622,70	597,61	4,03
5	2	2	2	748,06	795,56	6,35
6	3	3	1	532,10	559,00	5,05
7	3	1	2	650,5	681,99	4,84

**Şekil 4.** Ölçülen ve hesaplanan değerlerin karşılaştırılması

Tablo 8 ve 9'a göre; optimum seviyenin S/N oranı ile elde edilen kazanç 3,40 dB olarak bulunmuştur. Tahmin ve doğrulama denemelerinden elde edilen kazançların birbirlerine yakın olması (4,07 ve 3,40) konfirmasyonun başarılı bir şekilde sonuçlandığını göstermektedir. Optimum tasarıma göre patlama mukavemeti değeri 843,4 kPa, başlangıç tasarımına göre ise 571,8 kPa olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar patlama mukavemeti değerindeki iyileşmeyi göstermektedir.

#### **Tasarımda Yer Almayan Diğer Kombinasyonların Patlama Mukavemeti Değerinin Taguchi Dizaynı Kullanılarak Tahmin Edilmesi**

L<sub>9</sub> tasarımı içerisinde yer almayan diğer kombinasyonların performans değerleri Taguchi dizaynı kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Formül 2 ve 4 kullanılarak farklı 7 tasarım için tahmin edilen patlama mukavemeti değerleri hesaplanmıştır. Tasarımın tahminleme gücünü kontrol edebilmek için söz konusu 7 tasarıma göre numune kumaşlar üretilmiş ve patlama muka-

vemeti değerleri deneysel olarak da tespit edilmiştir. Tablo 10'da deneysel olarak ölçülen ve Taguchi tasarımına göre tahmin edilen değerler karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Patlama mukavemeti değerlerinin hesaplanması sırasında; bilgisayarda kullanılan yazılımdan, bilgisayarların sayıları belirli bir uzunlukta kesme zorunluluğundan ve kişilerden kaynaklanan bazı hataların oluşabileceği düşünülerek bağıl hata değerleri de hesaplanmıştır (32). Şekil 4'de ise ölçülen ve hesaplanan değerlerin grafiksel gösterimi verilmiştir.

Tablo 10 ve Şekil 4 incelendiğinde deneysel olarak ölçülen ve Taguchi tasarımına göre hesaplanan değerlerin birbirlerine oldukça yakın olduğu görülebilmektedir.

#### 4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, örme kumaşlarda önemli bir performans kriteri olan patlama mukavemeti değerinin son yıllarda yaygınlaşmaya başlayan Taguchi tasarımına göre optimizasyonu amaçlanmıştır.  $L_9$  ortogonal matrisi kullanılarak deney konfigürasyonları belirlenmiş ve belirlenen bu deney yapıları performans istatistikleri (ortalama ve S/N oranları) hesaplanmıştır. Faktörlerin ve seviyelerinin performans karakteristiği üzerinde oluşturacağı etkileri görebilmek için faktör etkileri grafiksel gösterimle verilmiş ve en yüksek patlama mukavemeti değerini veren optimum kombinasyon tespit edilmiştir. Performans karakteristiği üzerinde etkili olan faktörleri istatistiksel olarak belirleyebilmek amacıyla varyans analizi yapılmış ve her bir faktör için katkı yüzdeleri hesaplanmıştır.

Patlama mukavemetine en çok etki eden faktör iplik üretim tipi olarak tespit edilmiş, bunu sırasıyla relaksasyon türünün ve ilmek iplik uzunluğunun ta-

kip ettiği görülmüştür. Süprem kumaşlarda en iyi performans değerini veren kombinasyon; Ne 30/1 kompakt iplikten 0,25 ilmek iplik uzunluğunda (sık) ve yıkama relaksasyonlu kumaş olarak tespit edilmiştir. Kompakt ipliklik sisteminde eğirme üçgeninin olabildiğince küçültülmesi ve liflerin iplik yapısı içerisinde yer alması daha mukavemetli bir iplik yapısı oluşturduğundan, bu özellik kumaş mukavemetinde de kendini göstermiştir. Örgü yapısı içerisinde ilmek iplik uzunluğunun artması yapıyı seyreklettiğinden mukavemet değerinde azalmalar görülebilmektedir. Tam relaksasyonlu kumaşlarda örme kumaş yapısı boyutsal değişmezlik kazanmakta ve ilmek yapıları birbirine yaklaşmaktadır. Bu durumda 5 yıkama sonunda ulaşılan tam relaksasyonlu kumaşların daha yüksek mukavemet göstermesi beklenebilmektedir. Bu çalışmada ise, kumaşların 1.yıkama sonu az farkla da olsa daha iyi mukavemet değeri verdiği tespit edilmiştir. Bu durum, yıkama işlemi ile oluşan kimyasal ve mekanik etkilerin kumaşlarda bir miktar mukavemet kaybına neden olması ile açıklanabilmektedir (33). Özellikle Tablo 5'de verilen parametre seviyelerinin S/N oranları incelendiğinde, yıkama relaksasyonlu ve tam relaksasyonlu kumaşların S/N oranı değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu, dolayısıyla performans karakteristiği üzerindeki etkilerinin de yakın

olduğu görülebilmektedir (A2=56,28; A3=55,79).

S/N oranına göre, deney yapılmayan diğer kombinasyonlar için, tahminleme sonucu elde edilen değerlerin deneysel olarak elde edilen değerlere oldukça yakın olması Taguchi tasarımının hem optimizasyon hem de tahminleme başarılı bir şekilde kullanılabilceğini göstermektedir. Örme kumaş parametrelerinin bir arada optimize edilmesi ile daha yüksek patlama mukavemeti değerlerine ulaşılabilirken, optimizasyon için gerekli deney sayısı da büyük oranda azaltılmıştır.

Tam faktöriyel deney tasarımları, mümkün olan bütün kombinasyonları denediği için, zaman ve maliyet kaybına neden olmaktadır. Taguchi deney tasarımı ise, deneylerin tüm kombinasyonlarının denenmesi yerine ortogonal dizinleri kullanarak sadece bir kısmının yapılmasıyla en iyi performans karakteristiği değerini veren faktör seviyelerinin bulunabileceğini ifade etmektedir.

Taguchi tekniği getirdiği kolaylıkların yanında deney düzeneğinde seçilen ortogonal diziye bağlı olarak bazı etkileşimleri göz ardı edebilmektedir. Bu durum tekniğin en zayıf yönünü oluşturmakta, tasarım aşamasında faktörlerin ve seviyelerinin seçilmesinde bu durumun göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

#### KAYNAKLAR / REFERENCES

- Özdil, N., 2003, "Patlama Mukavemeti", *Kumaşlarda Fiziksel Kalite Kontrol Yöntemleri*, E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Yayını, Yayın no:21, s:62-65.
- Savaşkan, M., Taptık, Y., Ürgen M., 2004, "Deney Tasarımı Yöntemi ile Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu", *İTÜ Mühendislik Dergisi*, Cilt: 3, Sayı:6, 117-128.
- Canıyılmaz, E., Kutay, F., 2003, "Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım", *Gazi Üniversitesi, Müh-Mim. Fakültesi Dergisi*, Cilt:18, No:3, 51-63.
- Khosla, A., Kumar, S., Aggarwal, K.K., 2006, "Identification of Strategy Parameters for Particle Swarm Optimizer Through Taguchi Method", *Journal of Zhejiang University Science A*, 7(12), 1989-1994.
- Roy, R.K., 2001, "Design of Experiments Using the Taguchi Approach", *A Wiley-Interscience Publication*, ISBN 0-471-36101-1.p.538.
- Naveen, S.A., Aravindan, S., Noorul Haq, A., 2009, "Influence of Machining Parameters on Surface Roughness of GFRP Pipes", *Advances in Production Engineering & Management Journal*, Vol. 4, Issue 1-2, p.47-58.
- Park, C.K., Ha, J.Y., 2005, "A Process for Optimizing Sewing Conditions to Minimize Seam Pucker Using the Taguchi Method", *Textile Research Journal*, 75(3), 245-252.
- Zeydan, M., 2008, "Modelling the Woven Fabric Strength Using Artificial Neural Network and Taguchi Methodologies", *International Journal of Clothing Science and Technology*, Vol.20, No.2, 104-118.
- Fan, K., Wang, W., Chiou, H., 2008, "Fabrication Optimization of a Micro-Spherical Fiber Probe with the Taguchi Method", *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 18, 015011 p.8.
- Singh, S., Shan, H.S., Kumar, P., 2002, "Parametric Optimization of Magnetic-Field-Assisted Abrasive Flow Machining by the Taguchi Method", *Quality and Reliability Engineering International*, 18, 273-283.



11. Ross, P.J., 1996, "Taguchi Techniques for Quality Engineering", Mcgraw-Hill International Editions, ISBN 0-07-114663-6.p.329.
12. Taguchi G., Chowdhury, S., Wu, Y., 2005, "Taguchi's Quality Engineering Handbook", John Wiley&Sons, Inc. ISBN 0-471-41334-8. p.1662.
13. Liasi, E., Du, R., Simon, D., Bujas-Dimitrejevic, J., Liburdi, F., 1999, "An Experimental Study of Needle Heating in Sewing Heavy Materials Using Infrared Radiometry", *International Journal of Clothing Science and Technology*, 11(5), 300-314.
14. Cheng, K.P.S., Li, C.H.L., 2002, "JetRing Spinning and Its Influence on Yarn Hairiness", *Textile Research Journal*, 72 (12), 1079-1087.
15. Kumar, A., Ishtiaque S.M., Salhotra, K.R., 2006, "Study of Effect of Spinning Process Variables on the Packing Density of Ring, Rotor and Air-Jet Yarns Using the Taguchi Method", *Autex Research Journal*, Vol.6, No.3. p.122-135.
16. Ishtiaque S.M., Salhotra, K.R., Kumar, A., 2006, "Analysis of Spinning Process Using the Taguchi Method. Part II: Effect of Spinning Process Variables on Fibre Extent and Fibre Overlap in Ring, Rotor and Air-jet Yarns", *Journal of the Textile Institute*, Vol.97. No.4. p.285-293.
17. Kumar, A., Ishtiaque, S.M., Salhotra, K.R., 2006, "Analysis of Spinning Process Using the Taguchi Method. Part III: Effect of Spinning Process Variables on Migration Parameters of Ring, Rotor and Air-jet Yarn", *Journal of the Textile Institute*, Vol.97. No.5. p.377-384.
18. Kumar, A., Ishtiaque, S.M., Salhotra, K.R., 2006, "Analysis of Spinning Process Using the Taguchi Method. Part IV: Effect of Spinning Process Variables on Tensile Properties of Ring, Rotor and Air-jet Yarns", *Journal of the Textile Institute*, Vol.97. No.5. p.385-390.
19. Kumar, A., Salhotra, K.R., Ishtiaque, S.M., 2006, "Analysis of Spinning Process Using the Taguchi Method. Part V: Effect of Spinning Process Variables on Physical Properties of Ring, Rotor and Air-jet Yarns", *Journal of the Textile Institute*, Vol.97. No.6. p.463-473.
20. Salhotra, K.R., Ishtiaque, S.M., Kumar, A., 2006, "Analysis of Spinning Process Using the Taguchi Method. Part I: Effect of Spinning Process Variables on Fibre Orientation and Tenacities of Sliver and Roving", *Journal of the Textile Institute*, Vol.97. No.4. p.271-283.
21. Cho, D.H., Jeong, Y., 2006, "Analysis of Spinning Process Parameters on Development of Spun-Dyed Pet Yarn Using the Taguchi Method", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 102, 1419-1427.
22. Webb, C.J., Waters, G.T., Thomas, A.J., Liu, G.P., Thomas, C., 2007, "The Use of the Taguchi Design of Experiment Method in Optimizing Splicing Conditions for a Nylon 66 Yarn", *Journal of the Textile Institute*, Vol.98. No.4, 327-336.
23. Onal, L., Zeydan, M., Korkmaz, M., Meeran, S., 2009, "Predicting the Seam Strength of Notched Webbing for Parachute Assemblies Using the Taguchi's Design of Experiment and Artificial Neural Networks", *Textile Research Journal*, 79(5), p.468-478.
24. Ounimo, R., Takeda, H., 1988, "Spirality in Plain-Jersey Fabrics Knitted of Three-Ply Cotton Yarns", *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, Vol.34, No.3, 74-78.
25. Bozkurt, B., 1991, "2x2 Rib (Kaşorse) Örgülerin Kalınlık Değerleri Üzerine Bir Araştırma", *Tekstil ve Konfeksiyon*, 2, 116-124.
26. Park, S. W., Hwang, Y.G., 1999, "Measuring and Fuzzy Predicting Total Handle from Selected Mechanical Properties of Double Weft-Knitted Fabrics", *Textile Research Journal*, 69 (1), 19-24.
27. Chen, Q.H., Au, K.F., Yuen, C.W.M., Yeung, K.W., 2003, "Effects of Yarn and Knitting Parameters on the Spirality of Plain Knitted Wool Fabrics", *Textile Research Journal*, 73 (5), 421-426.
28. Amreeva, G., Kurbak, A., 2007, "Experimental Studies on the Dimensional Properties of Half Milano and Milano Rib Fabrics", *Textile Research Journal*, 77 (3), 151-160.
29. BS EN ISO 13938-2, Textiles – Bursting Properties of Fabrics, Part:2 Pneumatic Method for Determination of Bursting Strength and Bursting Distension, 1999.
30. Mel, M., Karim, M.I.A., Jamal, P., Salleh, M.R.M., Zakaria, R.A., 2006, "The Influence of Process Parameters on Lactic Acid Fermentation in Laboratory Scale Fermenter", *Journal of Applied Sciences*, 6(10), 2287-2291.
31. Savaşkan, M., 2003, "Deney Tasarımı Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Kullanımı ile İnce Sert Seramik Kaplı Matkap Uçlarının Performans Değerlendirmesi ve Optimizasyonu", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
32. Error and Type of Errors, jeofizik.ankara.edu.tr/download/notlar/JFM224/Konu1.pdf, 2009.
33. Mavruz, S., Oğulata R.T., 2009, "Biyoparlatma Uygulanmış Örme Kumaşlara Tekrarlı (Çoklu) Yıkamaların Etkisinin İncelenmesi", *Tekstil ve Konfeksiyon*, Cilt:19, No:3, Sf:224-230.

Bu araştırma, Bilim Kurulumuz tarafından incelendikten sonra, oylama ile saptanan iki hakemin görüşüne sunulmuştur. Her iki hakem yaptıkları incelemeler sonucunda araştırmanın bilimselliği ve sunumu olarak "**Hakem Onaylı Araştırma**" vasfıyla yayımlanabileceğine karar vermişlerdir.

**Değerli Araştırmacılarımız 2011 yılından itibaren sadece İngilizce yayınlar kabul edilecektir.**