



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy  
2011, Volume: 6, Number: 2, Article Number: 1A0172

**ENGINEERING SCIENCES**

Received: November 2010

Accepted: February 2011

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 [www.newwsa.com](http://www.newwsa.com)

**Belkıs Zervent Ünal<sup>1</sup>**

**Erdem Koç<sup>2</sup>**

Cukurova University<sup>1</sup>

Ondokuz Mayıs University<sup>2</sup>

belzer@cu.edu.tr

erdemkoc@omu.edu.tr

Adana-Turkey

**HAVLU KUMAŞLARDA HİDROFİLİTE, YUMUŞAKLIK VE MUKAVEMETİN OPTİMİZASYONU**

**ÖZET**

Çalışma kapsamında havlu kumaşlar için önemli olan seçilmiş performans özelliklerinin (hidrofilite, yumuşaklık, ve kopma mukavemeti) aynı anda eniyilenmesinin hedeflendiği çok amaçlı bir optimizasyon modeli kurulmuştur. Bunun yanı sıra, bu modelin oluşturulmasında gerekli olan bazı değerleri elde etmek amacıyla da 4 ayrı tek amaçlı optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Kurulan bu modellerin çözümü LINGO 8.0 optimizasyon yazılımı ile gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar irdelenerek belirli özelliklere sahip bir havlu kumaşın üretilmesi için kullanılması gereken fiziksel özellik değerleri ve bu havlunun üretim sonrası sahip olacağı seçilmiş performans özellik değerleri önceden tahmin edilebilmektedir. Böylelikle deneme üretimlerden kaynaklanacak maliyet artışı ve zaman kaybı önlenmiş olmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Optimizasyon, Havlu Kumaşlar,  
Performans Özellikleri, Fiziksel Özellikler

**THE OPTIMIZATION OF HYDROPHILITY, SOFTNESS AND STRENGTH OF TOWEL FABRICS**

**ABSTRACT**

In this study, a multi-objective optimization model aiming the optimization of the selected performance properties (hydrophility, softness and breaking strengths) of towel fabrics simultaneously was developed. In addition to this, since obtaining the values needed for developing this model, four single-objective models were developed. The solution of these models was realized with using LINGO 8.0 software. By examining the solution results of the model developed, the physical properties needed for producing the towel having certain properties and the performance properties of the towel that will be obtained after production can be predicted. So, it would be possible to ensure considerable savings in cost and time consuming for the towel production process.

**Keywords:** Optimization, Towel Fabrics, Performance Properties, Physical Properties

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Havlular kumaşlar, giyimden ev tekstiline kadar hayatımızın pek çok alanına girmiş olan tekstil mamulleridir. Genellikle kurulama amaçlı olarak kullanılmaları nedeniyle hidrofiliti ile yumuşaklık ve bunlara ilave olarak mukavemet havlular için öne çıkan özelliklerdir.

Tekstil işletmelerinde genellikle seri üretime geçmeden önce deneme üretimler yapılarak istenen özelliklerde mamulü elde etmek için gerekli parametreler belirlenmekte olup bu durum maliyet artışına ve zaman kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle, çalışma kapsamında havlu kumaşların hidrofiliti, yumuşaklık ve kopma mukavemeti özelliklerinin birlikte optimizasyonunun (eniyelemesinin) amaçlandığı bir matematiksel model oluşturulmuştur. Söz konusu modelin çözümü LINGO 8.0 optimizasyon yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçta yüksek geçerliğe sahip "Global Optimum" çözüm elde edilmiştir. Modelde kısıt olarak kullanılan bağıntılar SPSS paket programı yardımıyla uygulanan istatistiksel analizler ile oluşturulmuştur. Kurulan bu model esnek bir yapıya sahip olup farklı özelliklerdeki kumaş türlerine kolaylıkla adapte edilebilmektedir.

Çalışma kapsamında yapılan literatür taraması sonucu tekstil sektöründe optimizasyon çalışmalarının genellikle belirli bir zaman dilimi için minimum maliyet veya maksimum karlılık amacıyla üretimin planlanması şeklinde gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Ayrıca maliyet dışında tek bir parametrenin optimizasyonuna yönelik çalışmalara da rastlanmıştır.

El Mogahzy tarafından 1992 yılında yapılmış olan çalışmada üç farklı pamuktan oluşan karışımlarda, maliyeti minimum tutacak optimum karışım oranlarını tespit etmeyi amaçlayan bir model oluşturulmuş olup, bu model grafik ve simplex metotları kullanılarak çözülmüştür [1]. Sağbaş (1997) tarafından yapılan çalışmada, belirli kalite kısıtlarını sağlayan minimum maliyetli iplik elde edebilmek için kullanılması gereken elyaf karışım oranlarının belirlenmesi amacıyla bir optimizasyon modeli geliştirilmiş ve bu model GINO paket programı yardımıyla çözülmüştür [2]. Chen ve Leaf tarafından 2000 yılında yapılan çalışmada MECHFAM adlı bir yazılım kullanılarak, kumaşın yapısal parametrelerini optimize etmek amacıyla bir model geliştirilmiştir [3]. Candan ve Doğanay (2001), bir çözümlü örme işletmesinde üretim planlama çalışması yürütmüşler, maksimum karlılık için gerekli üretim parametrelerini belirlemeye çalışmışlar ve modelin çözümünde LINDO optimizasyon yazılımını kullanmışlardır [4]. Kovacevic ve arkadaşları ise 2006 yılındaki çalışmalarında iplik kalite parametrelerinin optimum kumaş üretimi üzerindeki etkilerini analiz etmişler, minimum maliyet ve maksimum kopma mukavemeti için üretim parametrelerinin belirlenmesini amaçlamışlardır [5]. Aniş (1989) tarafından yapılan çalışmada havlu kumaşlarda optimum su emicilik özelliği için uygun kumaş parametrelerinin belirlenebilmesi amacıyla bilgisayar programı yapılmış ve kurulan modelin pratikte uygulanabilirliği araştırılmıştır [6].

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Çalışma kapsamında çok amaçlı bir matematiksel optimizasyon modeli oluşturulmuş olup bu modelin çözümüyle, seçilmiş fiziksel ve performans özellikleri belirli sınırlar içerisinde olan bir havlu kumaşın üretimini optimum yumuşaklık, hidrofiliti, atkı ve çözgü kopma mukavemeti değerlerinde gerçekleştirmek için kullanılması gereken fiziksel özellik değerleri, bu özelliklerde dokunan havlu kumaşın performans özelliklerinin alacağı değerler deneme üretimlere gerek kalmadan tahmin edilebilmektedir. Böylelikle deneme üretimlerden kaynaklanacak zaman kaybı ve maliyet artışı azaltılmış olmaktadır.

### 3. DENEYSEL, İSTATİSTİKSEL VE ANALİTİK ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL, STATISTICAL AND ANALYTICAL STUDY)

#### 3.1. Optimizasyon Modelleri (Optimization Models)

"Model" ifadesi bir sistemin değişen koşullar altındaki davranışlarını incelemek, kontrol etmek ve geleceği hakkında varsayımlarda bulunmak amacı ile elemanlar arasındaki bağıntıları matematiksel terimlerle belirleyen ifadeler topluluğu şeklinde tanımlanabilmektedir.

- **Modellerin Temel Elemanları:** Problemden kaynaklanan bazı özel durumlar dışında modellerin çoğu amaç fonksiyonu ve kısıtlardan oluşmakta olup bu elemanların tamamının doğrusal olması halinde söz konusu modeller "doğrusal modeller", enaz birinin doğrusal olmayan bir ifade olması halinde oluşturulan modeller ise "doğrusal olmayan (nonlinear) modeller" olarak ifade edilmektedir.

- o **Amaç Fonksiyonu:** Tüm organizasyonların varmak istediği bir veya birden fazla amaç bulunmakta olup işletmelerde genellikle belirli özelliklerdeki ürünün üretiminde maliyeti, karlılığı veya herhangi bir özelliği optimize etmek amaçlanmaktadır. Bu amaçla oluşturulan modeller "tek amaçlı modeller (single objective models)" olarak tanımlanmaktadır. Ancak bazı durumlarda işletme yönetimi tarafından iki veya daha fazla amacın aynı anda gerçekleştirilmesi, başka bir ifadeyle herhangi iki veya daha fazla parametrenin minimum veya maksimum değerler alması vb. istenebilmektedir. Bu durumda birden fazla amacın belirli kısıtlar doğrultusunda sağlanması söz konusu olup bu modeller "çok amaçlı modeller (multi objective models)" olarak ifade edilmektedir.

$x_1, x_2, \dots, x_n$  karar değişkenleri ve  $c_1, c_2, \dots, c_n$  sabit katsayılar olmak üzere amaç fonksiyonu genel olarak;

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad \text{veya} \quad Z_{\text{enb/enk}} = \sum_{j=1}^n c_jx_j \quad (1)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Problemin amacı,  $Z'$ 'yi maksimum veya minimum yapan " $x$ " değerlerinin bulunmasıdır.

- o **Kısıtlar:** Organizasyonların kaynakları sonsuz olmadığından modelde birtakım kısıtlamaların yer alması gerekmekte olup bunlara bütçe kısıtı, talep kısıtı vb. örnek olarak verilebilmektedir. Kısıtlar, doğrusal veya doğrusal olmayan eşitlik veya eşitsizliklerden meydana gelebilmekte olup en genel haliyle kısıt ifadesi aşağıda (2 nolu eşitlik) verilmiştir.

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n (\leq, =, \geq) b_1 \quad (2)$$

$x_1, x_2, \dots, x_n$  : Karar değişkenleri (kontrol edilebilen değişkenler)

$a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}$  : Karar değişkenlerinin katsayıları

$b_1$  : Sabit sayı

Kısıtları ifade eden eşitlik/eşitsizlikler, problemin çözümü olabilecek " $x$ " değişkenlerinin de içinde bulunduğu "çözüm bölgesini" belirlemekte ve sonuçta tüm kısıtları sağlayan optimum (en uygun) çözüm bulunmaktadır.

### 3.2. Oluşturulan Optimizasyon Modeli ve Çözümü (The Optimization Model Obtained and Their Solution)

Çalışma kapsamında oluşturulan model; yumuşaklık, hidrofilite, atkı ve çözgü kopma mukavemeti değerlerinin optimizasyonu olmak üzere kısıtlar doğrultusunda dört ayrı amacın aynı anda gerçekleştirilmesinin hedeflendiği çok amaçlı bir optimizasyon modelidir.

Sadece tek bir parametrenin optimizasyonunun amaçlanması halinde bu özellik için belirlenen amaç fonksiyonu değeri, ele alınan kısıtlar doğrultusunda elde edilebilecek "en iyi değer" olarak ifade edilmektedir. Ancak bu özelliğin yanı sıra başka özellik/özelliklerin aynı anda optimizasyonunun amaçlanması durumunda beklenen şekilde en iyi değerlerden sapma meydana gelmektedir. Çok amaçlı modellerde genellikle amaç, sözkonusu sapmaların minimum olduğu çözümün elde edilmesidir. Bu nedenle çalışma kapsamında öncelikle her bir performans özelliğinin (yumuşaklık, hidrofilite, atkı ve çözgü kopma mukavemeti) en iyi değerlerinin belirlenmesi amacıyla tek amaçlı optimizasyon modelleri oluşturulmuş ve çözümleri gerçekleştirilerek "en iyi değerler" elde edilmiştir. Bu tek amaçlı modellerin tümü aynı prensiple oluşturulmuş, sadece eniyilenmesi amaçlanan özelliğe göre amaç fonksiyonu ifadesi değiştirilmiştir. Tablo 1'de bu modellerde amaç fonksiyonu ve kısıt olarak kullanılan matematiksel büyüklükler toplu olarak verilmiştir.

Tablo 1. Amaç fonksiyonu veya kısıt olarak kullanılan eşitlikler  
(Table 1. The equations used for objective function or constraint) [7]

Değişkenler (birimler)	Sembol	Eşitlikler	Alt limit	Üst limit
Gramaj (gr/m <sup>2</sup> )	G	$G = -25,476 \cdot HN + 10,407 \cdot ZN - 5,991 \cdot AN + 3,464 \cdot AS + 8,545 \cdot CS + 46,1 \cdot HY$	350	700
Hav yüksekliği (-)	HY	$HY = -4,587 + 0,481 \cdot HN + 0,008783 \cdot G$	5	15
Çözgü sıklığı (tel/2cm)	CS	$CS = 1,047 \cdot HN + 0,990 \cdot ZN + 0,688 \cdot AN + 0,02806 \cdot G$	30	60
Hav çözgü num. (Ne)	HN	$HN = 16,398 - 0,264 \cdot AN - 0,0204 \cdot G - 0,233 \cdot AS + 0,283 \cdot CS + 1,11 \cdot HY$	10	20
Atkı numarası (Ne)	AN	$AN = -0,371 \cdot HN + 1,054 \cdot ZN - 0,01377 \cdot G + 0,325 \cdot CS$	10	20
Atkı kıvrımı (%)	KA	$KA = -0,00817 \cdot G + 0,432 \cdot CS$	-	20
Z. çözgü kıvrımı (%)	KZ	$KZ = 0,386 \cdot AS + 0,748 \cdot ZN - 0,729 \cdot AN$	-	20
Atkı sıklığı (tel/2cm)	AS	$AS = 0,188568 \cdot G - 0,000337 \cdot G^2 + 2,122 \cdot 10^{-7} \cdot G^3$	30	50
Yumuşaklık (kgf)	Y	$Y = -0,530 \cdot ZN + 0,01856 \cdot G - 0,256 \cdot HY$	-	6
Hidrofilite (sn)	H	$H = -6,957 \cdot HN - 0,451 \cdot G + 6,954 \cdot AS + 3,259 \cdot CS$	-	50
Atkı kop. muk. (N)	Akop	$Akop = 24,307 \cdot AS - 30,569 \cdot AN$	274	-
Ç. Kopma muk. (N)	Ckop	$Ckop = 17,246 \cdot ZN + 3,752 \cdot CS$	333	-

Tabloda verilen eşitliklerin oluşturulması amacıyla kapsamlı bir deneysel ve istatistiksel çalışma yürütülmüştür. Bu amaçla öncelikle üretimi gerçekleştirilen dokunmuş havlu numunelerinin fiziksel

(gramaj, hav yüksekliği, sıklıklar, iplik numaraları ve kıvrım değerleri) ve performans özellikleri standart test yöntemleri kullanılarak deneysel olarak belirlenmiştir. Daha sonra parametrik testlere uygunluğu K-S testi, Runs testi ve Histogram Grafikleri ile kontrol edilen bu verilere regresyon analizi uygulanarak her bir değişkeni, seçilmiş fiziksel özellikler cinsinden matematiksel olarak tanımlayan birer eşitlik oluşturulmuştur. Tabloya göre bir havlu kumaşın hav yüksekliği değeri hav çözgü numarası ve gramaj değerleri kullanılarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla tahmin edilebilmektedir. Ayrıca bu eşitliklerin geçerlilik düzeyleri korelasyon analizi ile test edilmiş ve yüksek geçerliliğe sahip oldukları belirlendiği için çalışma kapsamında kurulan optimizasyon modelinde kullanılmıştır. İstatistiksel analizlerin uygulanmasında SPSS 10.0 paket programı tercih edilmiştir.

Matematiksel modelleme prensibine göre söz konusu eşitliklerin kısıt olarak kullanılabilmesi için alt ve/veya üst limit değerleri verilmesi gerekmekte olup bu sınırlamalar fiziksel ve performans özelliklerinin modelin çözümünde alabilecekleri değer aralıklarını ifade etmektedir. Bu sınır değerler endüstride yaygın kullanılan ve literatürde sık rastlanan veriler gözönünde bulundurularak belirlenmiş olup, sözkonusu sınır değerleri de Tablo 1'de verilmiştir [7]. Tablo 1'de her bir performans özelliği için oluşturulan eşitlikler sırasıyla amaç fonksiyonu olarak seçilerek, diğer eşitliklerde sınır değerleriyle birlikte kısıt olarak kullanılarak kurulan modellerin LINGO 8.0 optimizasyon yazılımı yardımıyla çözülmesiyle, kısıtlar, sınır değerleri ve sabit büyüklükler aynı kalmak koşuluyla yumuşaklık, hidrofilité, atkı ve çözgü kopma mukavemetinin sahip olabileceği "en iyi değerler" sırasıyla Tablo 2'de verildiği gibi tespit edilmiştir.

Tablo 2. Performans özellikleri için tespit edilen en iyi değerler  
(Table 2. The best values obtained for performance properties)

Özellikler	Yumuşaklık (kgf)	Hidrofilité (sn)	Atkı kopma mukavemeti (N)	Çözgü kopma mukavemeti (N)
Değerler	3,15	26,78	525,36	390,93

Daha önce belirtildiği gibi seçilen birden fazla özelliğin aynı anda optimizasyonunun amaçlanması halinde Tablo 2'de verilen en iyi değerlerden sapma meydana gelebilmektedir. Çalışma kapsamında kurulan çok amaçlı modelde bu sapmaların toplamının minimum olması ve böylelikle seçilen performans özellikleri için en iyi değerlere en yakın çözümün elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu durumda örneğin yumuşaklığın en iyi değeri 3,15 kgf (31,5 N) olarak belirlendiğinden  $Y \leq 3,15$  ifadesinin çok amaçlı modele girilmesi gerekmektedir. Sözkonusu ifadeyi eşitlik haline getirmek amacıyla  $z_1$  ile ifade edilen "yapay değişken" yumuşaklık ifadesine eklenmelidir. Burada  $z_1$  değerleri her bir özellik için en iyi değerlerden sapma miktarlarını göstermekte olup sözkonusu ifade  $Y + z_1 = 3,15$  şeklinde yazılabilmektedir.

Ancak  $z_1$  büyüklüğü "işaret olarak sınırlandırılmamış değişken" olarak ifade edilmekte olup bu değişkenler negatif, pozitif veya sıfır değerleri alabilmekte ve modelde negatif olmayan iki değişken arasındaki fark olarak yazılmaktadır. Bu nedenle işaret olarak sınırlandırılmamış  $z_1$  değişkeni modelde  $(z_1^+ - z_1^-)$  şeklinde ifade edilmiş olup  $z_1^+ \geq 0$  ve  $z_1^- \geq 0$  olması gerekmektedir [8]. Buna göre yumuşaklık için

$$Y + z_1^+ - z_1^- = 3,15 \quad (3)$$

ifadesi oluşturularak modele eklenmiştir. Benzer şekilde diğer performans özellikleri için de 4, 5 ve 6 nolu eşitlikler oluşturulmuştur.

$$\text{hidrofilite için} \quad H + z_2^+ - z_2^- = 26,78 \quad (4)$$

$$\text{atki kopma mukavemeti için} \quad Akop + z_3^+ - z_3^- = 525,36 \quad (5)$$

$$\text{çözgü kopma mukavemeti için} \quad Ckop + z_4^+ - z_4^- = 390,93 \quad (6)$$

Oluşturulan çok amaçlı modelin amaç fonksiyonu olarak, esas alınan her bir özelliğin en iyi değerlerinden sapma miktarlarının ( $z_1, z_2, z_3, z_4$ ) toplamını minimum yapacak bir ifade kullanılmaktadır. Ancak minimizasyonun amaçlandığı özellikler için  $z_1^-$ , maksimizasyonun amaçlandığı durumlar için ise  $z_1^+$  değeri esas alınmaktadır. Oluşturulan modelde yumuşaklık ve hidrofilite değerlerinin minimizasyonu amaçlandığından (kullanılan test yönteminin prensibi nedeniyle sözkonusu değerlerin küçülmesi yumuşaklık ve hidrofilite derecelerinin iyileşmesi anlamına gelmektedir)  $z_1^-, z_2^-$  değerlerinin, atki ve çözgü kopma mukavemetlerinin ise maksimizasyonu amaçlandığından  $z_3^+$  ve  $z_4^+$  değerlerinin toplamını veren ifade amaç fonksiyonu olarak alınmış ve 7 nolu eşitlik oluşturulmuştur.

$$\min = z_1^- + z_2^- + z_3^+ + z_4^+ \quad (7)$$

Buna göre 7 nolu eşitlik amaç fonksiyonu, oluşturulan diğer eşitlikler ve Tablo 1'de verilen bağıntılar kısıt olarak kullanılarak havlu kumaş üretiminde hidrofilite, yumuşaklık ve kopma mukavemeti değerlerinin aynı anda en iyilmesinin amaçlandığı bir matematiksel optimizasyon modeli oluşturulmuştur.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Çalışma kapsamında oluşturulan çok amaçlı nonlineer optimizasyon modelinin çözümü de aynı optimizasyon yazılımı (LINGO 8.0) kullanılarak gerçekleştirilmiş olup çözüm raporu aşağıda verilmiştir.

**Global optimal solution found at iteration:** 9  
**Objective value:** 0.4767148

Variable	Value	Reduced Cost
Z1E	0.4767148	0.000000
Z2E	0.000000	0.000000
Z3A	0.000000	0.000000
Z4A	0.000000	0.000000
Y	3.626715	0.000000
Z1A	0.000000	0.000000
H	26.78000	0.000000
Z2A	0.000000	0.000000
AKOP	525.4074	0.000000
Z3E	0.4740088E-01	0.000000
CKOP	390.9360	0.000000
Z4E	0.000000	0.000000
ZN	10.00000	0.000000
G	630.9796	0.000000
HY	10.87604	0.000000
HN	20.62609	0.000000
AS	38.11885	0.000000
CS	58.22921	0.000000
AN	13.12269	0.000000
KA	19.99992	0.000000

KZ	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.4767148	-1.000000
2	0.000000	1.000000
3	0.000000	0.1476572E-01
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	-0.1113979E-01
6	2.373285	0.000000
7	0.000000	-1.000000
8	23.22000	0.000000
9	0.000000	-0.1476572E-01
10	251.4074	0.000000
11	0.000000	0.000000
12	57.93600	0.000000
13	0.000000	0.1113979E-01
14	5.876042	0.000000
15	4.123958	0.000000
16	0.000000	-1.534509
17	280.9796	0.000000
18	69.02040	0.000000
19	0.000000	-0.3883967E-01
20	9.731207	0.000000
21	0.2687934	0.000000
22	12.62609	0.000000
23	28.22921	0.000000
24	1.770789	0.000000
25	0.000000	-0.3382100
26	8.118851	0.000000
27	11.88115	0.000000
28	0.000000	-0.2372214
29	3.123626	0.000000
30	6.876374	0.000000
31	3.122690	0.000000
32	0.8418141E-04	0.000000
33	0.000000	0.000000
34	7.372564	0.000000
35	0.000000	0.000000
36	0.000000	-1.000000
37	0.000000	-0.1476572E-01
38	0.000000	-1.000000
39	0.000000	-0.9888602
40	0.4767148	0.000000
41	0.000000	-0.9852343
42	0.4740088E-01	0.000000
43	0.000000	-0.1113979E-01

Yukarıda verilen çözüm raporundaki "Variable" alanında modelde kullanılan sabit ve değişken büyüklükler sıralanmaktadır. "Value" sütunu ise söz konusu büyüklüklerin modelin en iyi çözümünde aldığı değerleri ifade etmektedir. "Reduced cost" sütunu ise modelde yer alan büyüklüklerin, modelin optimum çözümünde belirli bir değer alarak çözüme girip girmediklerini ifade etmektedir. Çözüme giren değişkenlerin "reduced cost" değeri sıfır olmakta, çözüme girmeyen değişkenler için ise bu sütuna bir değer atanmaktadır. Bir değişkenin "value" sütunundaki değeri sıfır ise bu değişkenin modele girmediği anlaşılmaktadır ve sözkonusu büyüklüğün mutlaka modele alınması gerekirse değişkenin alacağı bir birimlik değer için amaç

fonksiyonunun değerinde meydana gelecek değişim miktarı "reduced cost" sütununda verilmektedir. Çalışma kapsamında kurulan modeldeki tüm büyüklüklerin reduced cost değerlerinin sıfır olması hepsinin modele girdiğini ifade etmektedir.

"Row" sütunu amaç fonksiyonu ve kısıtları ifade eden sıra numaralarını içermektedir. 1 nolu sıra amaç fonksiyonunu, diğerleri ise modele yazılış sırasına göre kısıtları tanımlamaktadır. "Slack or Surplus" değerleri ise eşitsizlik formundaki kısıtları eşitlik haline getirmek amacıyla eklenen aylak ve artık değişkenlerin modelin en iyi çözümünde aldıkları değerleri ifade etmektedir. Bu değerler sözkonusu kısıt ifadesinin sağ tarafındaki sabit değerden çözümde kullanılmayan kısmı göstermektedir. Seçilmiş bazı satırlar ele alınarak "slack or surplus" sütunundaki değerler izah edilmeye çalışılmıştır.

Buna göre modelde 6. satırdaki ifade yumuşaklık kısıtı olup söz konusu kısıtın "slack or surplus" değeri 2,373285 olarak belirlenmiştir. Bu kısıtın sağ tarafındaki değer 6, çözüm raporundaki optimum değer ise 3,626715 olduğu görülmektedir. Bu durumda yumuşaklık kısıtının sağ tarafındaki sabit değerden  $6 - 3,626715 = 2,373285$  birimi çözümde kullanılmamış olup bu değer "slack or surplus" sütununda belirtilmiştir. Söz konusu kısıtın sağ tarafındaki değer tamının kullanılmıyor olması nedeniyle bu değer arttırılması veya çözümde yeralan değere kadar ( $Y=3,626715$ ) azaltılması halinde modelin çözülmesiyle elde edilen optimum değerlerin değişmeyeceği anlaşılmaktadır. Başka bir ifadeyle bu kısıtın sağ tarafına girilen değer 3,626715 ile  $+\infty$  arasında değişmesi halinde çözüm değişmeyecektir.

Kurulan modelin çözüm raporundaki "Dual Price" değerleri ise modelin sağ taraf sabitlerinde 1 birimlik artış veya azalış olması halinde amaç fonksiyonu değerinin bu değişiklikten nasıl etkileneceğini vermektedir. Minimizasyon problemlerinde sözkonusu değişim ters orantılı, maksimizasyon problemlerinde ise doğru orantılı şekilde gerçekleşmektedir. Başka bir ifadeyle kısıtların sağ taraf sabitlerindeki bir birimlik artış minimizasyonun amaçlandığı modellerde amaç fonksiyonu değerinde azalışa, maksimizasyon modellerinde ise artışa yol açmaktadır. Amaç fonksiyonunda meydana gelecek bu değişimin miktarı "dual price" sütununda verilmekte olup bu değerler pozitif, negatif veya sıfır olabilmektedir. "Row" sütununda 8. sırada yeralan kısıta ait dual price değerinin sıfır olduğu rapordan görülmektedir. Sözkonusu değer yumuşaklık kısıtına ait olup, çözümde yumuşaklığın aldığı değer bu kısıtın sağ taraf sabitinden küçük olduğundan sabit değer bir birim arttırılması veya azaltılması amaç fonksiyonunun değerini değiştirmemektedir. Bu nedenle de bu kısıta ait dual price değeri sıfır olarak gerçekleşmiştir.

Çözüm raporuna göre amaç fonksiyonu 0,4767148 değerini almış olup, bu değer minimizasyonu amaçlanan büyüklüklerin "en iyi değerler"den sapma miktarlarının toplamını  $(z_1^- + z_2^- + z_3^+ + z_4^+)$  ifade etmektedir. Bu değer küçüldükçe elde edilen yumuşaklık, hidrofilit, atkı ve çözümlü kopma mukavemeti değerlerinin en iyi değerlere daha çok yaklaştıkları anlaşılmaktadır.

Çalışma kapsamında oluşturulmuş olan, seçilmiş performans özelliklerinin aynı anda optimize edilmesinin amaçlandığı modelin çözümü sonucu fiziksel ve performans özelliklerinin almış olduğu değerler Tablo 3'te toplu olarak özetlenmiştir.



Tablo 3. Optimizasyon modeli çözüm sonuçları  
(Table 3. The solution results of optimization model)

Özellikler	Çözüm değerleri	Özellikler	Çözüm değerleri
Gramaj ( $\text{gr}/\text{m}^2$ )	630,97	Atkı kopma mukavemeti (N)	525,40
Hav yüksekliği (-)	10,87	Çözümlü kopma mukavemeti (N)	390,93
Atkı sıklığı (tel/2cm)	38,11	Batma süresi (hidrofilite) (sn)	26,78
Çözümlü sıklığı (tel/2cm)	58,22	Yumuşaklık derecesi (kgf)	3,62
Atkı iplik num. (Ne)	13,12		
Zemin çözümlü iplik num. (Ne)	10,0		
Hav çözümlü iplik numarası (Ne)	20,62		
Zemin çözümlü kıvrımı (%)	12,62		
Atkı kıvrımı (%)	19,99		

##### 5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Çalışma kapsamında oluşturulan matematiksel optimizasyon modelinin çözüm raporunun irdelenmesiyle elde edilen sonuçlardan seçilmiş olanlar aşağıda özetlenmiştir.

- Çalışmada oluşturulan modelin amaç fonksiyonu olarak her bir özelliğin en iyi değerlerinden sapma miktarlarının toplamını veren ifade kullanılmış olup sözkonusu en iyi değerler de yine optimizasyon modelleri yardımıyla belirlenmiştir. Bu modellerde ise "en iyi değeri" belirlenmeye çalışılan özelliğinin matematiksel ifadesi amaç fonksiyonu olarak seçilmiş, özelliğinin yapısına göre maksimizasyon veya minimizasyonu amaçlanmıştır. Buna göre çalışma kapsamında dördü tek amaçlı, biri çok amaçlı olmak üzere toplam 5 adet matematiksel optimizasyon modeli oluşturulmuştur.
- Oluşturulan tek amaçlı ve çok amaçlı modellerde kısıt olarak kullanılan ifadeler ve bunlar için belirlenen sınır değerleri sabit tutulmuştur.
- Yumuşaklık, atkı ve çözümlü kopma mukavemetleri ve hidrofilite büyüklüklerinin seçilen kısıtlar doğrultusunda sahip olabilecekleri en iyi değerler;  
Yumuşaklık : 3,15 Kgf (31,5 N)  
Atkı Kopma Mukavemeti : 525,36 N  
Çözümlü Kopma Mukavemeti : 390,93 N  
Hidrofilite : 26,78 sn olarak tespit edilmiştir.
- Kurulan çok amaçlı modelin çözüm raporuna göre yumuşaklık, hidrofilite ve mukavemet değerleri belirlenen kısıtlar doğrultusunda mümkün olan optimum değerlerde olan havlu kumaşın üretilmesi için gramajın  $630,97 \text{ gr}/\text{m}^2$ , hav yüksekliğinin 10,87, atkı ve çözümlü sıklıklarının sırasıyla 38,11 tel/2cm ve 58,22 tel/2cm vb. özelliklere sahip olarak dokunması gerektiği anlaşılmaktadır. Belirlenen bu değerler kısıtlara verilen alt ve üst sınır değerleri arasına düştüğü için uygulamada herhangi bir sorun oluşmamaktadır. Ayrıca bu özelliklerde dokunan havlu kumaşın hidrofilitesinin 26,78 sn, yumuşaklık derecesinin 3,62 kgf, atkı ve çözümlü kopma mukavemetlerinin sırasıyla 525,40 N ve

390,93 N olacağı da üretim öncesi yüksek güvenirlikle tahmin edilebilmektedir.

- Çalışma kapsamında oluşturulan model esas alınarak farklı amaçlar için (örneğin herhangi bir veya iki performans özelliği ile maliyetin aynı anda optimizasyonu) yeni modeller de kolaylıkla oluşturabilmekte olup elde edilen çözüm raporlarına göre işletmenin önceliklerini göz önünde bulundurarak tercih yapması ve üretimini bu sonuçlara göre gerçekleştirmesi mümkün olabilmektedir.
- Oluşturulan bu model, sabit büyüklüklere atanan değerler ile kısıtların sınır değerleri günün şartlarına ve işletme koşullarına göre kolaylıkla güncellenerek yeniden çözülebilir niteliktedir.

#### **SEMBOLLER (SYMBOLS)**

a	: Karar değişkenlerinin katsayıları
Akop	: Atkı kopma mukavemeti
AN	: Atkı iplik numarası
AS	: Atkı sıklığı
b	: Sabit sayı
Ckop	: Çözümlü kopma mukavemeti
CS	: Çözümlü sıklığı
G	: Gramaj
H	: Hidrofilite
HN	: Hav çözgü iplik numarası
HY	: Hav yüksekliği
KA	: Atkı kıvrımı
KZ	: Zemin çözgü kıvrımı
x	: Karar değişkenleri
Y	: Yumuşaklık
Z	: En iyi değerlerden sapma miktarları
ZN	: Zemin çözgü iplik numarası

#### **NOT (NOTICE)**

Bu çalışma, 14-16 Ekim 2010 tarihinde Dicle Üniversitesinde tamamlanan Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumunda (BUMAT2010) sözlü sunumu yapılmış ve NWSA yazım esaslarına göre yeniden düzenlenmiştir.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

1. El Mogahzy, E.Y., (1992). Optimizing Cotton Blend Costs With Respect to Quality Using HVI Fiber Properties and Linear Programming Part I: Fundamentals and Advanced Techniques of Linear Programming. Textile Research Journal, V:62, P:1-8.
2. Sağbaş, A., (1997). Pamuk Elyaf Karışımlarında Tepki Yüzeyleri ve Tasarımları Yöntemiyle Süreç Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
3. Chen, X. and Leaf, G.A.V., (2000). Engineering Design of Woven Fabrics for Specific Properties. Textile Research Journal, V:70, No:5, P:437-442.
4. Candan, C. ve Doğanay, B., (2001). Doğrusal Programlama Modelinin Çözgü Örne İşletmesine Uygulanması. Tekstil-Teknik Dergisi, ss:154-168, Aralık.
5. Kovacevic, S., Penava, Z., and Oljaca, M., (2006). Optimisation of Production Costs and Fabric Quality. Fibres&Textiles in Eastern Europe, Vol:14, No:2 (56), P:79-84, April/June.

6. Anış, P., (1989). Havlu Kumaşlarda Dokuma Strüktürlerinin Bilgisayarda Modellenerek Kumaş Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Bursa:Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
7. Zervent Ü.B., (2007). Dokunmuş Havlu Kumaşların Üretim Parametreleri ve Performans Özelliklerinin Optimizasyonu. Doktora Tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
8. Öztürk, A., (1997). Yöneylem Araştırması. Bursa: Ekin Kitabevi.