

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Belkıs ZERVENT ÜNAL

**DOKUNMUŞ HAVLU KUMAŞLARIN ÜRETİM PARAMETRELERİ
VE PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN OPTİMİZASYONU**

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2007

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKUNMUŞ HAVLU KUMAŞLARIN ÜRETİM PARAMETRELERİ
VE PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN OPTİMİZASYONU**

Belkıs ZERVENT ÜNAL

DOKTORA TEZİ

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Bu tez 31/01/2007 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.**

İmza:.....	İmza:.....	İmza:.....
Prof. Dr. Erdem KOÇ	Yrd. Doç. Dr. Nihat ÇELİK	Yrd. Doç. Dr. Ali KOKANGÜL
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

İmza:.....	İmza:.....
Yrd.Doç.Dr. Emel Ceyhun SABİR	Yrd.Doç.Dr.Mehmet TOPALBEKİROĞLU
ÜYE	ÜYE

Bu tez Enstitümüz Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ

Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: MMF.2004.D8

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

**DOKUNMUŞ HAVLU KUMAŞLARIN ÜRETİM PARAMETRELERİ
VE PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN OPTİMİZASYONU**

Belkıs ZERVENT ÜNAL

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Erdem KOÇ

Yıl: 2007, Sayfa:232

Jüri : Prof. Dr. Erdem KOÇ

Yrd. Doç. Dr. Nihat ÇELİK

Yrd. Doç. Dr. Ali KOKANGÜL

Yrd. Doç. Dr. Emel Ceyhun SABİR

Yrd. Doç. Dr. Mehmet TOPALBEKİROĞLU

Bu çalışmada belirli özelliklere sahip havlu kumaşların birim üretim maliyetinin ve/veya performans özelliklerinin en iyilenmesinin amaçlandığı optimizasyon modelleri oluşturulması hedeflenmiştir.

Bu amaçla öncelikle birim ham havlu kumaş üretim maliyetini veren bir maliyet ifadesi oluşturulmuş olup bunun yanı sıra SANKO Havlu A.Ş. işletmesinde farklı fiziksel özelliklere sahip 47 adet numune havlu üretimi gerçekleştirilmiş ve bu numunelerin fiziksel ve performans özelliklerini belirlemek amacıyla deneysel çalışma yürütülmüştür. Daha sonra elde edilen bu değerler veri olarak kullanılarak SPSS paket programı yardımıyla çeşitli istatistiksel analizler (K-S testi, Runs testi, regresyon ve korelasyon analizleri) gerçekleştirilmiş ve seçilmiş fiziksel özelliklerle performans büyüklüklerinin üretime geçilmeden, bilinen fiziksel özellikler kullanılarak tahmin edilmesini sağlayacak çok sayıda eşitlik elde edilmiştir.

Daha sonra bu eşitliklerin kısıt olarak kullanıldığı ve oluşturulan maliyet ifadesinin amaç fonksiyonu olarak kabul edildiği bir maliyet minimizasyonu modeli kurularak “ana/temel model” olarak tanımlanmıştır. Daha sonra ana model esas alınarak, her bir performans özelliğinin ayrı ayrı eniyilenmesinin amaçlandığı ve maliyetle birlikte bir veya daha fazla performans özelliğinin aynı anda optimize edilmeye çalışıldığı toplam 16 adet non-lineer matematiksel model oluşturulmuş ve optimum çözümleri LINGO 8.0 optimizasyon yazılımı kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Havlu, istatistiksel analizler, optimizasyon, tahminleme, LINGO

ABSTRACT

PhD THESIS

OPTIMIZATION OF THE PRODUCTION PARAMETERS AND PERFORMANCE PROPERTIES OF WOVEN TOWELS

Belkıs ZERVENT ÜNAL

DEPARTMENT OF TEXTILE ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

Supervisor: Prof. Dr. Erdem KOÇ

Year: 2007, Page:232

Jury : Prof. Dr. Erdem KOÇ

Assist.Prof.Dr.Nihat ÇELİK

Assist.Prof.Dr.Ali KOKANGÜL

Assist.Prof.Dr.Emel Ceyhun SABİR

Assist.Prof.Dr.Mehmet TOPALBEKİROĞLU

The aim of this study is to develop optimization models for production cost and/or performance properties of towel fabrics having definite properties. For this purpose, firstly a production cost equation was adopted for the towels before finishing processes. Additionally, 47 towel samples with different physical properties were produced in SANKO Holding (Gaziantep). Then, the physical and performance properties of these samples were determined experimentally.

Various statistical analyses (K-S test, Runs test, regression and correlation analyses) were applied to the data obtained using the SPSS package programme. In the results of these analyses, the relevant equations were constituted to predict the physical and performance properties of the towels examined in the present study.

Hence, a cost minimization model was established and this model was defined as “the basic model”. In this model, the constituted equations were used as constraint and the production cost equation was accepted as the objective function. Totally 16 nonlinear mathematical models were carried out on the base of the basic model. It was individually aimed to optimize each of the performance property using some models out of sixteen models. Using the rest of the models, the cost and some selected performance properties were obtained in order to determine their optimum values. LINGO 8.0, the optimization software, has been used to solve the models. The evaluation of the results is given through the parts of the thesis.

Key Words: Towel, statistical analysis, optimization, predicting, LINGO

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans ve Doktora eğitimlerim boyunca, bilgi ve tecrübeleriyle her zaman katkıda bulunan, beni yönlendiren, destekleyen, çalışma azmi ve moral veren, çok yoğun olan temposuna rağmen değerli zamanını ayırarak bu çalışmayı sabır ve özenle inceleyen ve katkıları inkar edilemez olan çok değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Erdem KOÇ'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tekstil Mühendisliği Bölümü laboratuvar imkanlarından faydalanmamı sağlayan sayın bölüm başkanımız Prof. Dr. R. Tuğrul OĞULATA başta olmak üzere Tekstil Mühendisliği Bölümü akademik ve idari personeline teşekkür ederim.

Çalışmanın bel kemiğini oluşturan numune havlu temini konusunda her türlü kolaylığı sağlayan ve çalışmaya katkısının çok önemli olduğunu düşündüğüm SANKO HAVLU A.Ş.'den sayın Vedat BAŞSİMİTÇİ'ye, sayın Mustafa SABAK'a ve sayın Oya HENGİRMEN'e teşekkürü borç bilirim. Ayrıca laboratuvar imkanlarından faydalanmamı sağlayan BOSSA II işletmesi çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışma boyunca her türlü yardımı esirgemeyen ve bilgi birikimlerini sonuna kadar açan Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden sayın Yrd. Doç. Dr. Ali KOKANGÜL'e, İstatistik Bölümü öğretim üyelerinden sayın Prof. Dr. Hamza EROL'a, değerli hocalarım sayın Yrd. Doç. Dr. Nihat ÇELİK'e ve sayın Yrd. Doç. Dr. Emel Ceyhun SABİR'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca her türlü yardımı ve manevi desteği esirgemeyen, beni sürekli motive eden arkadaşım ve hocam sayın Öğr. Gör. Füsun DOBA KADEM'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca maddi ve manevi her konuda desteklerini gördüğüm, her zaman yanımda olan canım ailemin tüm fertlerine, özellikle gösterdiği özveri ve derin sevgiden dolayı canım anneme, anlayış ve desteğinden dolayı canım babama teşekkür ederim.

Yoğun çalıştığım dönemlerde gösterdiği anlayış, sağladığı huzurlu çalışma ortamı ve manevi destek için eşim Hakkı Hakan ÜNAL'a teşekkür ederim.

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	8
2.1. Havlu Kumaşların Özellikleri ve Havlu Üretimi.....	9
2.2. Dokunmuş Kumaşların Fiziksel ve Performans Özelliklerinin İlişkisi.....	13
2.3. Üretim Öncesi Tahminleme.....	15
2.4. Maliyet Hesabı ve Optimizasyon.....	18
3. HAVLU VE HAVLU KUMAŞLAR.....	21
3.1. Türkiye’de Havlu Üretimi ve Dış Ticareti.....	21
3.2. Havluların Temel Özellikleri ve Sınıflandırılması.....	24
3.3. Havlu Üretimi.....	26
3.3.1. Havlu Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....	26
3.3.2. Havlu Üretiminde Kullanılan İplik Özellikleri.....	27
3.3.3. Havlu Üretiminde Yaygın Kullanılan Kumaş Konstrüksiyonları.....	29
3.3.4. Havlu Üretim Prosesi.....	30
3.3.4.1. Havlu Dokuma İşleminin Temel Prensipleri.....	31
3.3.4.2. Havlu Dokuma Makinalarındaki Teknolojik Gelişmeler.....	33

4. YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI.....	37
4.1. Yöneylem Araştırmasına Giriş ve Tarihçe.....	37
4.2. Yöneylem Araştırması İşleyiş Süreci.....	38
4.3. Matematiksel Modeller.....	39
4.3.1. Doğrusal Programlama.....	40
4.3.2. Doğrusal Olmayan Programlama.....	43
4.3.3. Optimizasyon Modellerinin Çözümü ve Çözümün Yorumlanması.....	44
5. HAVLULARDA ÜRETİM MALİYETİ HESABI.....	55
5.1. Hammadde Maliyetinin Hesaplanması.....	55
5.2. Genel İmalat Giderlerinin Hesaplanması.....	61
5.3. Birim Zamanda (1 saat) Yapılan Üretim Miktarı	64
5.4. Toplam Üretim Maliyeti.....	65
6. MATERYAL VE METOT.....	66
6.1. Materyal.....	66
6.2. Metot.....	68
6.2.1. Fiziksel Özelliklerin Tespitinde Kullanılan Test Yöntemleri.....	69
6.2.2. Performans Özelliklerinin Tespitinde Kullanılan Test Yöntemleri.....	73
6.2.3. Kullanılan İstatistiksel Paket Program.....	76
6.2.4. Kullanılan Optimizasyon Yazılımı.....	79
7. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR.....	81
7.1. Numunelerin Fiziksel ve Performans Özelliklerinin Tespiti	81
7.2. Yürütülen Deneysel Çalışma Sonuçları.....	82
7.2.1. Numunelerin Fiziksel Özellikleri.....	82
7.2.2. Numunelerin Performans Özellikleri.....	105
8. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER VE SONUÇLARI.....	111
8.1. Kolmogorov-Smirnov Testinin Uygulanışı ve Sonuçlar.....	114
8.2. Histogram Grafiklerinin Oluşturulması ve Sonuçlar.....	115
8.3. Wald-Wolfowitz Diziler (Runs) Testinin Uygulanışı ve Sonuçları	119

8.4. Regresyon Analizinin Uygulanışı ve Çıktı Sayfasının Yorumlanması.....	120
8.5. Regresyon Analizi Sonuçları.....	130
8.5.1. Fiziksel Özelliklerin Regresyon Analizi Sonuçları.....	130
8.5.2. Performans Özelliklerinin Regresyon Analizi Sonuçları....	155
8.6. Korelasyon Analizinin Uygulanışı ve Sonuçların Genel Yorumu..	166
8.7. Geliştirilen Eşitliklerin Korelasyon Analizi Sonuçları.....	168
8.7.1. Regresyon Analizinde Kullanılan Verilerle Yapılan Analiz Sonuçları.....	168
8.7.2. Farklı Özellikteki Havluların Verileriyle Yapılan Analiz Sonuçları.....	170
8.8. Optimizasyon Modeline Kısıt Olarak Seçilen Eşitlikler.....	173
9. OPTİMİZASYON MODELLERİ VE ÇÖZÜMLERİ.....	174
9.1. Maliyet Optimizasyonu Modeli ve Çözümü.....	174
9.1.1. Kurulan Maliyet Optimizasyonu Modeli.....	174
9.1.2. Modelin Çözümü ve Yorumu.....	179
9.1.3. Sabit Büyüklüklerin Değiştirilmesiyle Elde Edilen Çözümler.....	183
9.1.3.1. Zemin Çözüğü İplik Numarasının Değişimi.....	184
9.1.3.2. Tezgah Parametrelerinin Değişimi.....	185
9.1.3.3. Üretim Parametrelerinin Fiyatlarının Değişimi....	189
9.2. Alternatif Modeller ve Çözümleri.....	192
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	210
10.1. Çalışmanın Özeti.....	210
10.2. İstatistiksel Çalışma Sonuçları.....	213
10.3. Kurulan Modellerin Çözümleriyle Elde Edilen Sonuçlar.....	215
10.4. Genel Değerlendirme.....	221
10.5. Öneriler.....	223
KAYNAKLAR.....	225
ÖZGEÇMİŞ.....	232

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

k_a	: Atkı ipliği krimp miktarı [%]
k_h	: Hav çözgü ipliği krimp miktarı [%]
k_z	: Zemin çözgü ipliği krimp miktarı [%]
mak	: Bir işçinin sorumlu olduğu makina sayısı
n	: Tezgah hızı (devri) [dev/dak]
r	: İki değişken arasındaki korelasyon katsayısı
A	: Aydınlatma amacıyla harcanan enerji [kW]
A_A	: Atkı ipliği ağırlığı [gr]
A_F	: Atkı ipliğinin birim kg fiyatı [YTL/kg]
A_M	: Atkı ipliğinin birim m^2 maliyeti [YTL/ m^2]
A_U	: Toplam atkı ipliği uzunluğu [m]
Akop	: Atkı kopma mukavemeti [N]
$Amort_m$	: Amortisman maliyeti [YTL/h]
AN	: Atkı ipliğinin Ne sistemine göre numarası [Ne]
AN_{nm}	: Atkı ipliğinin Nm sistemine göre numarası [Nm]
AS	: Atkı sıklığı [atkı/2cm]
Asüre	: Amortisman süresi [yıl]
Ckop	: Çözgü kopma mukavemeti [N]
CS	: Çözgü sıklığı [tel/2cm]
E	: Dokunacak kumaş eni [cm]
EF	: Elektriğin birim fiyatı [YTL/kWh]
E_m	: Enerji maliyeti [YTL/h]
G	: Gramaj [gr/m^2]
GİG	: Genel imalat giderleri [YTL/h]
H	: Hidrofilite [sn]
HC_A	: Hav çözgü ipliği ağırlığı [gr]
HC_F	: Hav çözgü ipliğinin birim kg fiyatı [YTL/kg]
HC_M	: Hav çözgü ipliğinin birim m^2 maliyeti [YTL/ m^2]
HC_U	: Toplam hav çözgü ipliği uzunluğu [m]

HM	: Hammadde maliyeti [YTL/m ²]
HN	: Hav çözgü ipliğinin Ne sistemine göre numarası [Ne]
HN _{nm}	: Hav çözgü ipliğinin Nm sistemine göre numarası [Nm]
HY	: Hav yüksekliği [-]
İ _m	: İşçilik maliyeti [YTL/h]
İÜ	: İşçilik ücreti [YTL/ay]
K	: İklimlendirme amacıyla harcanan enerji [kW]
L	: Dokunacak kumaş uzunluğu [cm]
M	: Dokuma makinasının motor gücü [kW]
R	: Birden fazla değişken arasındaki korelasyon katsayısı
R ²	: Belirtme katsayısı
R ² _d	: Düzeltilmiş R ² değeri
S _{ch}	: Hav çözgü sıklığı [tel/2cm]
S _{cz}	: Zemin çözgü sıklığı [tel/2cm]
TE	: Tarak eni [m]
TF	: Dokuma tezgahın fiyatı [YTL]
TM	: Toplam birim m ² maliyeti [YTL/m ²]
Ü	: Dokuma makinasında 1 saatte yapılan üretim miktarı [m ² /h]
V	: Verim [%]
Y	: Yumuşaklık [Kg]
YA	: Yöneylem araştırması
ZC _A	: Zemin çözgü ipliği ağırlığı [gr]
ZC _F	: Zemin çözgü ipliğinin birim kg fiyatı [YTL/kg]
ZC _M	: Zemin çözgü ipliğinin birim m ² maliyeti [YTL/m ²]
ZC _U	: Toplam zemin çözgü ipliği uzunluğu [cm]
ZN	: Zemin çözgü ipliğinin Ne sistemine göre numarası [Ne]
ZN _{nm}	: Zemin çözgü ipliğinin Nm sistemine göre numarası [Nm]

ÇİZELGELER DİZİNİ**SAYFA**

Çizelge 3.1.	Yıllar itibariyle tekstil ve konfeksiyon ihracatı (Değer:1000 \$)	21
Çizelge 3.2.	Yıllar itibariyle tekstil ve konfeksiyon ithalatı (Değer:1000 \$)	22
Çizelge 3.3.	Tekstil ve konfeksiyon sektöründe ev tekstili dış ticareti (Değer:1000 \$).....	22
Çizelge 3.4.	Türkiye’de havlu dış ticareti (Değer:1000 \$).....	23
Çizelge 6.1.	Numunelerin iplik özellikleri.....	66
Çizelge 6.2.	Test edilen özellikler ve testlerin standart numaraları.....	69
Çizelge 7.1.	Numunelerin boyutları.....	83
Çizelge 7.2.	Numunelerin gramaj (m ² ve adet gramajlar) değerleri.....	84
Çizelge 7.3.	Numunelerin atkı ve çözgü sıklıkları.....	86
Çizelge 7.4.	Numunelerin hav yüksekliği değerleri.....	88
Çizelge 7.5.	Numunelerin hav çözgü iplik numaraları.....	89
Çizelge 7.6.	Numunelerin zemin çözgü iplik numaraları.....	92
Çizelge 7.7.	Numunelerin atkı iplik numaraları.....	95
Çizelge 7.8.	Numunelerin krimp değerleri.....	98
Çizelge 7.9.	Numunelerin fiziksel özelliklerinin ön terbiye işlemi sonrası ölçülen değerlerinin toplu gösterimi.....	100
Çizelge 7.10.	Numunelerin fiziksel özelliklerinin dağılma aralıkları.....	105
Çizelge 7.11.	Numunelerin yumuşaklık değerleri.....	106
Çizelge 7.12.	Numunelerin hidrofilite değerleri (batma süreleri)	107
Çizelge 7.13.	Numunelerin kopma mukavemeti değerleri.....	109
Çizelge 8.1.	SPSS veri sayfasına girilen ölçüm değerleri.....	111
Çizelge 8.2.	Performans özelliklerinin normallik (K-S) testi sonuçları.....	114
Çizelge 8.3.	Fiziksel büyüklüklerin normallik (K-S) testi sonuçları.....	115
Çizelge 8.4.	Performans özelliklerine ait verilerin RUNS testi sonuçları.....	120
Çizelge 8.5.	Fiziksel özelliklere ait verilerin RUNS testi sonuçları.....	120
Çizelge 8.6.	Örnek bir korelasyon analizi sonucu.....	168
Çizelge 8.7.	Korelasyon analizi sonuçları (deneysel çalışma verileriyle)	169

Çizelge 8.8.	Kontrol amaçlı kullanılan havluların fiziksel özellikleri.....	171
Çizelge 8.9.	Korelasyon analizi sonuçları (kontrol amaçlı kullanılan havlu özellikleriyle)	172
Çizelge 8.10.	Modellerde kullanılacak eşitlikler.....	173
Çizelge 9.1.	Sabit ve değişken büyüklükler ve sembolleri.....	175
Çizelge 9.2.	Modelde verilen kısıtların sınır değerleri.....	177
Çizelge 9.3.	Ana modelin çözümü ile elde edilen değerler.....	183
Çizelge 9.4.	Zemin çözgü iplik numarası (ZN) değerinin değişmesiyle elde edilen çözüm değerleri.....	185
Çizelge 9.5.	Tezgah devrinin (N) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri.....	186
Çizelge 9.6.	Tezgah veriminin (V) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri.....	187
Çizelge 9.7.	Tezgah eninin (TE) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri.....	188
Çizelge 9.8.	İşçi başına düşen makina sayısı (MAK) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri.....	188
Çizelge 9.9.	Atkı ipliği fiyatının (AF) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri.....	190
Çizelge 9.10.	Zemin çözgü ipliği fiyatının (ZCF) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri.....	190
Çizelge 9.11.	Hav çözgü ipliği fiyatının (HCF) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri.....	190
Çizelge 9.12.	İşçilik ücretinin (İÜ) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri.....	190
Çizelge 9.13.	Elektrik birim fiyatının (EF) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri.....	190
Çizelge 9.14.	Oluşturulan modellerin çözüm sonuçları.....	203
Çizelge 9.15.	En iyi değerlerle optimum değerler arasındaki değişim.....	205
Çizelge 9.16.	Alternatif modellerin çözüm değerlerinde optimum değerlerden sapma miktarları.....	208

ŞEKİLLER DİZİNİ	SAYFA
Şekil 3.1. Tipik bir havlu şematik gösterimi	25
Şekil 3.2. Havluların sınıflandırılması.....	25
Şekil 3.3. Hav çeşitleri.....	28
Şekil 3.4. 3 atkılı havlu dokusu örgü raporları.....	29
Şekil 3.5. 3 atkılı havlu kesiti.....	32
Şekil 3.6. Havlu dokuma makinası tarağı.....	33
Şekil 3.7. Farklı hav yüksekliğine sahip havlu yapısı.....	34
Şekil 3.8. Dalgalı hav formuna sahip havlu kesiti.....	34
Şekil 4.1. LINGO Solver Status Penceresi.....	49
Şekil 4.2. Örnek model ve çözüm raporu.....	50
Şekil 4.3. Duyarlılık analizi raporu örneği.....	53
Şekil 6.1. Numunelere uygulanan ön terbiye işleminin grafiği.....	67
Şekil 6.2. Ön terbiye işlemi proses akış şeması.....	68
Şekil 6.3. Tipik bir havlunun şematik gösterimi.....	70
Şekil 6.4. Dijital pnömatik stiffness tester.....	74
Şekil 6.5. Titan universal mukavemet test cihazı.....	76
Şekil 7.1. Numune havluların örgü raporu.....	99
Şekil 8.1. AS (atkı sıklığı) verilerinin histogram grafiği.....	116
Şekil 8.2. CS (çözümlü sıklığı) verilerinin histogram grafiği.....	116
Şekil 8.3. G (gramaj) verilerinin histogram grafiği.....	116
Şekil 8.4. HY (hav yüksekliği) verilerinin histogram grafiği.....	116
Şekil 8.5. KA (atkı krimp) verilerinin histogram grafiği.....	117
Şekil 8.6. KZ (zemin çözgü krimp) verilerinin histogram grafiği.....	117
Şekil 8.7. AN (atkı iplik numarası) verilerinin histogram grafiği.....	117
Şekil 8.8. HN (hav çözgü iplik numarası) verilerinin histogram grafiği...	117
Şekil 8.9. ZN (zemin çözgü iplik numarası) verilerinin histogram grafiği	117
Şekil 8.10. Akop verilerinin histogram grafiği.....	118
Şekil 8.11. Ckop verilerinin histogram grafiği.....	118
Şekil 8.12. H (hidrofilite) verilerinin histogram grafiği.....	118

Şekil 8.13.	Y (yumuşaklık) verilerinin histogram grafiği.....	118
Şekil 8.14.	Çok değişkenli regresyon analizi çıktısı örneği.....	123
Şekil 8.15.	Hata terimleri ile standartlaştırılmış tahmin değerlerinin serpme grafiği örneği.....	128
Şekil 8.16.	Kısmi regresyon serpme grafiği örnekleri.....	129
Şekil 8.17.	Bağımlı değişkenin gramaj olduğu analiz sonuçları.....	132
Şekil 8.18.	Bağımlı değişkenin hav yüksekliği olduğu analiz sonuçları.....	135
Şekil 8.19.	Bağımlı değişkenin CS olduğu analiz sonuçları.....	137
Şekil 8.20.	Bağımlı değişkenin AS olduğu analizin ön sonuçları.....	140
Şekil 8.21.	AS-AN ilişkisini veren analiz sonuçları.....	143
Şekil 8.22.	AS-G ilişkisini veren analiz sonuçları.....	144
Şekil 8.23.	Bağımlı değişkenin KA olduğu analiz sonuçları.....	145
Şekil 8.24.	KA-ZN ilişkisini veren analiz sonuçları.....	148
Şekil 8.25.	KA-AN ilişkisini veren analiz sonuçları.....	149
Şekil 8.26.	Bağımlı değişkenin KZ olduğu analiz sonuçları.....	151
Şekil 8.27.	AN ile ZN arasında oluşturulan kısmi regresyon serpme grafiği.....	155
Şekil 8.28.	Bağımlı değişkenin Akop olduğu analiz sonuçları.....	156
Şekil 8.29.	Bağımlı değişkenin Ckop olduğu analiz sonuçları.....	158
Şekil 8.30.	Bağımlı değişkenin Y olduğu analiz sonuçları.....	161
Şekil 8.31.	Bağımlı değişkenin H olduğu analiz sonuçları.....	163
Şekil 8.32.	Değişkenler arasındaki olası ilişki şekilleri.....	167
Şekil 9.1.	Tezgah devri-maliyet ilişkisi.....	186
Şekil 9.2.	Tezgah verimi-maliyet ilişkisi.....	187
Şekil 9.3.	Tezgah eni-maliyet ilişkisi.....	188
Şekil 9.4.	Makina sayısı-maliyet ilişkisi.....	189
Şekil 9.5.	HCF-maliyet ilişkisi.....	191
Şekil 9.6.	ZCF-maliyet ilişkisi.....	191
Şekil 9.7.	AF-maliyet ilişkisi.....	191
Şekil 9.8.	Elek. fiyatı-maliyet ilişkisi.....	191
Şekil 9.9.	İşçilik ücreti-maliyet ilişkisi.....	192

Şekil 10.1.	Belirlenen numune havlu özellikleri.....	211
Şekil 10.2.	Uygulanan istatistiksel analizler.....	212
Şekil 10.3.	Oluşturulan optimizasyon modelleri.....	213

1. GİRİŞ

Tekstil ve konfeksiyon ürünleri genel olarak çevresel koşullardan, dış etkenlerden korunmak, yaşamı kolaylaştırmak, giyinmek, diğer insanlardan farklı görünmek vb. amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. **Tekstil**, elyafın elde edilmesinden tüketicinin istediği özelliklere sahip bir mamul haline gelinceye kadar geçen aşamaları kapsayan bir terimdir. **Konfeksiyon (hazır giyim)** ise satışa hazır hale gelmiş mamul kumaşın kullanılacağı yere uygun olarak şekillendirilmesi ve kullanılabilir hale getirilmesi işlemi olarak ifade edilmektedir. Bu işlem ile elde edilen materyallere dış giyim, iç giyim ürünleri, üniformalar ve ev tekstili ürünleri örnek olarak verilebilmektedir. Konfeksiyon, tekstil sektörünün bir alt kolu gibi değerlendirilebildiği gibi tekstilin devamı niteliğinde olan ayrı bir sektör olarak da kabul edilebilmektedir.

Tekstil ve konfeksiyon sektörünün içerisinde önemli bir yere sahip olan **ev tekstili** ürünleri (nevresim takımları, perdeler, havlular, bornozlar, masa örtüleri vb.) ise günlük hayatta pek çok yerde karşılaşılan, hem yaşanan mekanlara estetik açıdan olumlu özellikler katan hem de ihtiyaçları karşılamak amacıyla kullanılan ürünlerdir. Ev tekstili ürünleri içerisinde **havlu ve havlu kumaşların** kullanımı ilk sırada yer almakta olup günümüzde çok geniş bir kullanım alanına sahip olan havlular genellikle kurulama amaçlı olarak kullanılmaktadırlar.

Tekstil teknolojisinin kapsadığı işlemler en genel haliyle, lif (elyaf) üretimi, iplik oluşumu, dokuma, örme veya dokusuz yüzey yapısında bir tekstil yüzeyinin elde edilmesi, bu yüzeyin renklendirilmesi ve kullanım yerine göre bazı özelliklerin kazandırılması işlemlerini kapsayan terbiye prosesinden geçirilmesi şeklinde sıralanabilmektedir. Konfeksiyon aşamasında ise genel olarak serim, kesim, dikim, kalite kontrol ve paketleme prosesi takip edilmektedir.

Türkiye 1920’li yıllarda pamuk üretip ihraç eden buna karşılık iplik, kumaş ve giysi ithal eden bir ülkeyken, 1970’lerin başında hazır giyim ürünleri ihraç eden, bugün ise dünyada önemli tekstil ve konfeksiyon üreticileri arasında yer alan bir ülke konumuna gelmiştir. Günümüzde Türkiye tekstil ve konfeksiyon sanayisi, iç piyasanın ihtiyacını önemli oranda karşılamamanın yanı sıra ihracatta da önemli

gelişmeler kaydetmiştir. 2005 yılı verilerine göre tekstil ve konfeksiyonun ülkemiz genel ihracatı içerisindeki payı 18.569 milyon dolar ile %25,3 olarak gerçekleşmiştir. Aynı yıl tekstil ve konfeksiyon sektörü, toplam 6.698 milyon dolarlık ithalat miktarı ile genel ithalat içerisinde %5,7'lik paya sahip olmuştur (www.itkib.org.tr,2006).

Türkiye’de havlu kumaşları da içerisinde alan ev tekstili üretimi ve dış ticareti son yıllarda artış göstermiş olup ev tekstili ürünleri ihracatı tekstil ve konfeksiyon ihracatının yaklaşık %10’unu oluşturmuştur. Sektör üretiminin yoğunlaştığı başlıca iller; Bursa, Denizli, İstanbul, İzmir ve Uşak olarak sayılabilmektedir.

Havlu ve havlu kumaşların Türkiye’deki üretim merkezleri ise Denizli, Bursa, Kayseri ve Gaziantep’tir. Türkiye’de 2005 verilerine göre yaklaşık 381 firmada yılda 100.000 ton havlu ve bornoz üretimi gerçekleştirilmekte ve bunun yaklaşık 70.000 ton’u ihraç edilmekte olup sektör yaklaşık 40.000 kişiye istihdam sağlamaktadır. Sadece Denizli’de havlu ve bornoz üretimi yapan 181 firma bulunmakta olup 2005 yılında dünyanın pamuklu havlu ihracatının %8,1 bu ilimizden gerçekleştirilmiştir (www.igeme.gov.tr, 2006).

Türkiye’nin ev tekstili ihracatında havlu, oldukça yüksek bir paya sahip olup ilk sırada yer almaktadır. 2001-2004 döneminde yıllık ortalama %25 gibi oldukça yüksek bir artış oranı elde edilen havlularda 2005 yılı ihracatı 2004’e göre %12,6’lık artış göstermiştir. Havlu ithalatı ise son yıllarda düzenli bir şekilde artarak 2005 yılında 2.6 milyon dolar civarında gerçekleşmiş olup ev tekstili ithalatı içindeki payı %4,5 civarında olmuştur (www.igeme.gov.tr, 2006).

2005 yılında havlu kumaş ihracatının Türkiye tekstil ihracatı içerisindeki payı yaklaşık 612 milyon dolar ile %12,6 olmuş, tekstil ve konfeksiyon ihracatı birlikte değerlendirildiğinde ise sözkonusu pay %3,2 olarak gerçekleşmiştir (www.igeme.gov.tr, 2006).

Havlular, tek veya iki yüzünde hav denilen ilmek formundaki yapılar bulunan, dört tarafı bez doku ile çevrili, farklı en ve boylarda, farklı gramajlarda, 3 iplik sistemiyle (hav, zemin çözgüsü ve atkı) dokunmuş veya örülmüş tekstil mamulleridir. Havluların temel fiziksel özellikleri, havlulara özel bazı kavramlar dışında düz dokunmuş kumaşlarla hemen hemen aynıdır. Sadece havlular için geçerli olan kavramlar kısa hav mesafesi, hav yüksekliği, bordür olarak ifade

edilebilmektedir. Buna göre, diğer tekstil mamullerine benzer şekilde havlu kumaşların temel fiziksel özellikleri gramaj, hav yüksekliği, atkı ve çözgü sıklıkları, hav-zemin çözgü iplikleri ile atkı iplik numaraları, atkı ve zemin çözgü krimpri şeklinde sıralanabilmektedir.

Ayrıca diğer tüm tekstil mamullerinde olduğu gibi havlu kumaşlarında kullanım yerine göre bazı performans özelliklerine sahip olmaları gerekmektedir. Sözkonusu özelliklere yumuşaklık, hidrofilite, atkı ve çözgü kopma mukavemetleri, deniz suyuna, tere, yıkamaya ve sürtünmeye karşı renk haslıkları örnek olarak verilebilmektedir.

Önceleri sadece kurulama amaçlı olarak kullanılan havlu kumaşlara son yıllarda giyim eşyalarından çarşafa kadar pek çok alanda rastlanmaya başlanmıştır. Kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşan bu ürünler doğrudan cilde temas ettiği için yumuşaklık derecesinin yüksek olması, genellikle kurulama amaçlı olarak kullanıldığından yüksek emicilik göstermesi vb. gerekmektedir. Bu sebeple üretimi gerçekleştirilecek mamulün sıklık, gramaj, hav yüksekliği, iplik numaraları gibi fiziksel özelliklerinin tespitinde havludan istenen performans özelliklerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Bu nedenle belirli fiziksel özelliklerdeki mamullerinin performans özelliklerinin, çeşitli matematiksel ifadeler kullanılarak önceden tahmin edilmesi ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda üretim yapılması zorunlu hale gelmiştir. Bu kapsamda deneysel olarak tespit edilen gerçek verilere istatistiksel paket programlar kullanılarak çeşitli analizlerin uygulanmasıyla bağıntılar oluşturulabilmekte ve elde edilen bu denklemler, özelliklerin önceden tahmin edilmesinde kullanılabilmektedir. Ayrıca benzer işlemler ile, yine tahminleme amaçlı kullanılmak üzere, havlu kumaşın seçilmiş fiziksel özelliklerini diğer fiziksel büyüklükler cinsinden ifade edecek eşitliklerde oluşturulabilmektedir. Böylelikle havlu kumaşların fiziksel ve performans özellikleri üretime geçmeden tahmin edilerek deneme üretimleri ortadan kaldırılacak, zaman kaybı ve denemelerden kaynaklanacak maliyet artışı da önlenmiş olacaktır.

Mamulün kullanım yerine ve tüketici isteklerine göre belirlenen özelliklere sahip olmasının yanı sıra kumaş üretiminde önemli hususlardan biri de üretimin

mümkün olan en düşük maliyetle gerçekleştirilmesidir. Havlu kumaş üretiminde de ürünün sadece istenen kullanım özelliklerine sahip olması yetmemekte, üretim maliyetinin de düşük olması istenmektedir. Söz konusu üretim maliyeti ifadesi, birim havlu kumaş üretimi için gerekli olan hammadde maliyeti ve genel imalat giderlerinden oluşmaktadır. Ham havlu kumaş maliyeti esas alındığında hammadde maliyeti, birim alandaki hav-zemin çözgü ve atkı ipliklerinin toplam maliyeti olup, genel imalat giderleri ise işçilik, enerji ve amortisman maliyetleri olmak üzere üç ana kalemi kapsamaktadır.

İstenilen özelliklere sahip havlu kumaşların mümkün olan minimum maliyetle üretimini sağlayacak fiziksel özelliklerin belirlenebilmesi amacıyla yöneylem araştırması konusu kapsamında yeralan çeşitli matematiksel modeller oluşturulabilmektedir. Bu modellerde, istatistiksel analizler ile elde edilen eşitlikler kısıt olarak kullanılmakta, fiziksel ve performans özelliklerine alt ve üst sınır değerleri verilmekte ve modelin çözümüyle, söz konusu özellikleri bu sınırlar içerisinde olan bir havlu kumaşın minimum maliyetle üretilmesi için kullanılması gereken fiziksel büyüklükler tespit edilebilmektedir. Benzer şekilde herhangi bir performans özelliğinin optimize edilmesi veya hem maliyet hem de bir veya birden fazla performans özelliğinin aynı anda en iyilenmesinin amaçlandığı modeller oluşturulabilmektedir.

Çalışma kapsamında yapılan literatür taraması sonucu tekstil mamullerinin çeşitli özelliklerinin üretim öncesi tahmin edilmesi konusundaki çalışmaların genellikle iplikçilik teknolojisi ile ilgili olduğu ve düz dokunmuş kumaşlarla ilgili olarak da kısıtlı sayıda çalışmanın varlığı tespit edilmiş olup havlu kumaşlarla ilgili benzer bir çalışmaya rastlanamamıştır. Tekstil sektöründe maliyet veya karın optimizasyonu çalışmalarının ise genellikle belirli bir zaman dilimi için minimum maliyet veya maksimum karlılık amacıyla üretimin planlanması şeklinde gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Ayrıca minimum maliyet için optimum iplik üretim koşullarının veya iki iplikli sistemle oluşturulan düz dokunmuş kumaşların parametrelerinin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen çalışmalara da rastlanmıştır.

Bu çalışmada belirli özelliklere sahip havlu kumaşların birim üretim maliyetinin ve/veya performans özelliklerinin maksimizasyonunun ve/veya

minimizasyonunun amaçlandığı optimizasyon modelleri oluşturulması hedeflenmiştir. Bu amaçla öncelikle birim ham havlu kumaş üretim maliyetini veren bir maliyet ifadesi oluşturulmuştur. Sözkonusu maliyet ifadesi 1 m² alanındaki havlu kumaşın üretilmesi için gerekli olan ipliklerin toplam maliyetini ve üretim prosesinden kaynaklanan maliyet kalemlerini (işçilik, enerji ve amortisman maliyetleri) içermektedir.

Maliyet ifadesinin oluşturulmasının yanı sıra SANKO Havlu A.Ş. işletmesinde farklı fiziksel özelliklere sahip 47 adet numune havlu üretimi gerçekleştirilmiş ve daha sonra sözkonusu numunelerin fiziksel ve performans özelliklerini belirlemek amacıyla standartlaştırılmış test yöntemleriyle deneysel çalışma yürütülmüştür. Bu kapsamda fiziksel özellik olarak gramaj, hav yüksekliği, sıklıklar, iplik numaraları ve krimp değerleri, performans özelliklerinden ise yumuşaklık, hidrofilite, atkı ve çözgü kopma mukavemeti değerleri belirlenmiştir. Daha sonra elde edilen bu değerler veri olarak kullanılarak SPSS paket programı yardımıyla çeşitli istatistiksel analizler (K-S testi, Runs testi, regresyon ve korelasyon analizleri) gerçekleştirilmiş ve fiziksel özelliklerle performans büyüklüklerinin üretime geçilmeden, bilinen fiziksel özellikler kullanılarak tahmin edilmesini sağlayacak çok sayıda eşitlik elde edilmiştir. Daha sonra bu denklemlerin geçerlilik düzeyleri korelasyon analizi yardımıyla test edilmiş ve oluşturulacak optimizasyon modellerinde kısıt olarak kullanılmak üzere her bir özellik için en yüksek güvenilirliğe sahip birer eşitlik seçilmiştir.

Tez çalışmasının esas amacı maliyetin ve/veya performans özelliklerinin en iyilenmesinin hedeflendiği optimizasyon modelleri elde etmek olduğundan, öncelikle maliyet ifadesinin, amaç fonksiyonu, diğer eşitliklerin ise kısıt olarak kullanıldığı bir maliyet minimizasyonu modeli kurularak “ana/temel model” olarak tanımlanmıştır. Daha sonra ana model esas alınarak, her bir performans özelliğinin ayrı ayrı eniyilenmesinin amaçlandığı ve maliyetle birlikte bir veya daha fazla performans özelliğinin aynı anda optimize edilmeye çalışıldığı toplam 16 adet nonlinear matematiksel model oluşturulmuş ve bunların optimum çözümleri LINGO 8.0 optimizasyon yazılımı kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. Sözkonusu

modellerin oluşturulması, çözümü ve çözüm raporlarının yorumu, ilgili bölümlerde, detaylı olarak irdelenmiştir.

Tez çalışmasında yeralan ana bölümler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Tez çalışmasının “**Önceki Çalışmalar**” isimli 2. bölümünde, yapılan literatür taraması sonucu konuyla ilgili olarak ulaşılan yayınlar özetlenmiştir. Söz konusu yayınlar genel olarak, havlu kumaşların üretimi ve özellikleri, dokunmuş kumaşlarda fiziksel ve performans özelliklerinin arasındaki etkileşim, üretim öncesi söz konusu özelliklerin tahmin edilmesi ve maliyet hesabı ile optimizasyonu konularını içermektedir.

“**Havlu ve Havlu Kumaşlar**” isimli 3. Bölümde öncelikle havlu kumaş üretimi ve dış ticaretinin Türkiye’deki durumunu ortaya koyacak sayısal veriler sunulmuştur. Ayrıca havlu kumaşların temel özellikleri, havlu üretiminde kullanılan hammadde, iplik özellikleri ve doku türü bilgileri özetlenmiş ve havlu dokuma işleminin temel prensibi ile havlu dokuma makinalarındaki teknolojik gelişmeler verilmiştir.

Yöneylem araştırması konusunun ele alındığı “**Yöneylem Araştırması**” başlıklı 4. Bölümde matematiksel model oluşturma süreci ve matematiksel model türleri ile oluşturulan bir modelin çözümüne ve söz konusu çözümün yorumlanmasına yer verilmiştir.

Birim havlu kumaş üretim maliyetinin hesaplanmasında kullanılabilecek eşitliğin detaylı olarak oluşturulma şekliyle birlikte verildiği “**Havlularda Üretim Maliyeti Hesabı**” bölümünde (5.Bölüm) elde edilen maliyet ifadesi, çalışma kapsamında oluşturulan maliyet minimizasyonu modelinde amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır.

“**Materyal ve Metot**” bölümünde (6.Bölüm) tezin deneysel çalışma kısmında numune olarak kullanılan havluların seçilmiş fiziksel ve performans özelliklerinin tespitinde kullanılan test yöntemleri, varsa test cihazlarıyla birlikte verilmiştir. Ayrıca materyal olarak kullanılan numunelerin üretim prosesi, dokuma işleminde kullanılan makinanın teknik özellikleri ve uygulanan ön terbiye işlemleri de özetlenmiştir. Bunun yanı sıra çalışmanın istatistiksel kısmında yapılan analizlerin gerçekleştirildiği SPSS paket programı ile çalışma kapsamında oluşturulan

optimizasyon modellerinin çözümünde kullanılan LINGO 8.0 optimizasyon yazılımı da menüleri ile birlikte kısaca tanıtılmıştır.

6. Bölümde verilen test yöntemleri kullanılarak yürütülen deneysel çalışma sonucu her bir özellik için belirlenen değerler **“Deneysel Çalışma ve Bulgular”** isimli 7. Bölümde çizelgeler halinde ayrı ayrı verilmiştir.

Önceki bölümde verilmiş olan değerlerin veri olarak kullanıldığı istatistiksel analizler ve sonuçları 8. Bölüm olan **“İstatistiksel Çalışma ve Sonuçlar”** bölümünde detaylı bir şekilde sunulmuştur. Sırasıyla Kolmogorov-Smirnov testi, Runs testi, histogram grafiklerinin oluşturulması, regresyon ve korelasyon analizlerinin uygulanması hakkında bilgiler verilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

“Optimizasyon Modelleri ve Çözümleri” isimli 9. Bölümde istatistiksel analizler yardımıyla oluşturulan eşitliklerin kısıt olarak kullanıldığı optimizasyon modelleri ile çözümleri verilmiş ve bu modellerin çözümleriyle elde edilen sonuçlar toplu olarak irdelenmiştir.

İstatistiksel analizlerle ve kurulan optimizasyon modellerinin çözümleriyle elde edilen sonuçlar toplu olarak **“Sonuçlar ve Öneriler”** olarak isimlendirilen 10. Bölümde verilmiş ve daha sonra yapılabilecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tekstil ve konfeksiyon sektörünün teknolojik açıdan geçirdiği evreler ve gösterdiği gelişmeler yıllardır araştırılmakta ve bunlar yapılan bilimsel çalışmalarla ortaya konulmaktadır. Ancak tekstilin bir alt kolu olan havlu ve havlu kumaşların günlük hayatta kullanım alanlarının gün geçtikçe artması, araştırmacıların ilgisini son yıllarda bu alana yönlendirmeye başlamıştır. Dolayısıyla havlu üretimi ve bu aşamada kullanılan makinalarla ilgili çalışmalar yakın geçmişte artış göstermiştir.

Literatür taraması ile genel olarak havlu dokuma işlemi, üretim maliyetinin optimizasyonu, tekstil mamullerinin fiziksel özelliklerinin birbiriyle etkileşimi ve mamulün kullanım özelliklerine ve kaliteye etkisi ile bu özelliklerin üretim öncesi tahmin edilebilmesi konularında daha önce yapılmış çalışmalar, yurtiçi ve yurtdışı makale, kitap ve tez gibi yayınlar tespit edilmeye ve bunlara ulaşılmaya çalışılmıştır.

Yapılan araştırmalar sonucu elde edilen çalışmaların genellikle iplik üretimi ve ipliklerin performans özelliklerini etkileyen parametrelerin belirlenmesi konularını içerdiği sonucuna varılmıştır. Özellikle iplik üretim makinalarındaki çeşitli üretim parametrelerinin, kullanılan hammadde türünün, karışım oranlarının, iplik eğirme yönteminin, fitil ve cer şeridi özelliklerinin üretilen ipliğin performansına etkisini belirleme amaçlı çalışmalara ulaşılabilmektedir. Ayrıca sıklık, iplik numarası, gramaj gibi özelliklerin dokunmuş kumaşların seçilmiş performans özelliklerine etkisinin de araştırıldığı görülmüştür.

Havlu kumaşlarla ilgili olarak yapılmış önceki çalışmalarda ise genellikle su emicilik özelliği değerlendirilmiş ve kumaş ile iplik parametrelerinin emiciliğe etki şekilleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca özellikle havlu dokuma işlemi ve dokunmuş havlularda yumuşaklığa etki eden parametrelerle ilgili çalışmalar da tespit edilmiştir.

Bunun yanısıra bazı özelliklerin üretim öncesi tahmin edilmesi konusunda yapılmış olan çalışmaların da genellikle iplik üretimi ve ipliklerin kullanım özelliklerinin seçilmiş fiziksel özelliklere bağlı olarak tahmin edilmesi alanında olduğu görülmüş olup havlu kumaşlarla ilgili benzer çalışmalara ulaşılamamıştır. Tekstil sektöründe maliyet optimizasyonu konusunda yapılan çalışmalarda ise

genellikle, maliyetin mümkün olan en düşük seviyeye getirilmesi amacıyla belirli zaman dilimleri için üretim planlaması yapılmıştır. Ayrıca minimum maliyet veya maksimum karlılık için optimum iplik üretim koşullarının veya bez dokuma parametrelerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar da yürütülmüştür.

Çalışma süresince yapılan literatür taraması sonucu ulaşılan yayınlar (tez, makale vb.) dört ana başlık altında sınıflandırılmış ve seçilmiş olanlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

2.1. Havlu Kumaşların Özellikleri ve Havlu Üretimi

1972 yılında yapılmış olan çalışmada (**Anon**) tekrarlanan çamaşır yumuşatıcısı uygulamalarının hidrofilite başta olmak üzere havlu kumaşların özellikleri üzerindeki etkisi deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Deneylerde materyal olarak %100 pamuk ve %75-25 pamuk-rayon karışımı havlular kullanılmış, numuneler 10 kez yıkamaya tabi tutulmuş ve özelliklerdeki değişim gözlemlenmiştir. Bu amaçla altı farklı yumuşatıcı türü kullanılarak denemeler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

1975 yılında **Cary ve Sproles** tarafından hazırlanmış olan çalışmada havlu kumaşların su emiciliği ölçümü için kullanılan beş ayrı test metodu karşılaştırılmıştır. Her bir test metodunun kapsamlı olarak avantajlarını belirlemek için laboratuvar şartlarında uygulama yapılmıştır. Sonuçlar, “Gözenekli Yüzey Metodu” ve “Kayan Blok Metodu” testlerinin havlunun su emiciliğinin ölçülmesi için en uygun yöntemler olduğunu göstermiştir. Bunun yanısıra çalışmada bütün test yöntemlerinin birtakım zorluklara ve kısıtlamalara sahip olduğu belirtilmiştir.

Swani, Hari ve Anandjiwala tarafından 1984 yılında yapılan bu çalışmada ring ve Open-End eğirme sistemleriyle üretilmiş iplikler kullanılarak dokunan havluların su emicilik ve aşınma direnci özellikleri karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucu ring ve open-end iplikli havluların su absorpsiyon oranlarında önemli bir farklılık tespit edilmemiştir. Ancak düşük kumaş sıklığı ve aynı gramajda OE havluların maksimum absorpsiyonu ring havlulardan daha yüksek çıkmış ve yüksek hav yüksekliği, gramaj ve hav sıklığı değerlerinin yüksek hidrofilite

dereceleri sağladığı görülmüştür. Bunların yanısıra ring iplikli havluların aşınma direncinin kuru ve yaş hallerde OE havlulardan daha yüksek olduğu ancak yaş halde önemli ölçüde düştüğü sonucuna varılmıştır. Ayrıca çalışmada uzun hav yükseklikleri ve orta düzeyde hav sıklığının maksimum aşınma direnci için uygun olduğu belirtilmiştir.

Havlular kumaşları diğerlerinden ayıran en belirgin yapısal özelliği yüzeyindeki hav tabakasıdır. **Göksel (1987)**, çalışmada havlu dokuma makinalarında hav oluşumunu sağlayan sistemleri ve havlu kumaşlarda bulunması gereken özellikleri tanıtmıştır. Bunun yanısıra havluların hidrofilitesine etki eden yapısal özelliklerin; çözgü sıklığı, atkı sıklığı, hav yüksekliği ve iplik kalitesi (büküm miktarı, elyaf cinsi, iplik numarası vs.) olduğu belirtilmiştir.

Aniş (1989) tarafından yapılan çalışmada havlu kumaşlar genel olarak tanıtılmış ve su alma kabiliyetine etki eden temel yapısal özellikler tek tek gözden geçirilmiştir. Elde edilen verilerle optimum özellikleri sağlayan havlu kumaşın bilgisayarda programlanması yapılmıştır. Son olarak kurulan modelin pratikte uygulanabilirliği araştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda; birim alandaki uzun yüzmelerin sayısının, hav yüksekliğinin, atkı sıklığının, iplik katının, bükümün, numaranın ve iplik üretim yönteminin su emiciliği etkileme şekli hususunda bir takım sonuçlara varılmıştır. Buna göre atkı sıklığının, atkı iplik bükümünün ve atkı ipliğinin inceliğinin artmasıyla hidrofilitenin azaldığı, çift katlı ipliklerin tek katlı ipliklere oranla daha hidrofil oldukları tespit edilmiştir.

Bozgeyik (1991), havlu kumaşlarda aranan kalite parametrelerinden boyutsal değişim ve hidrofiliteye etki eden faktörleri ve değişik fiziksel yapılarıdaki havluların bu faktörlerden etkilenme şekillerini belirlemeye çalışmıştır. Standartlara uygun olarak, değişik özellikteki havlulara uygulanan deneyler sonucunda; hidrofilitenin iplik numarası ve gramajdan etkilenmediği ancak sıklık ve hav yüksekliği arttıkça kumaşta bir hidrofilleşme olduğu belirlenmiştir.

Zervent (2002) tarafından yapılan çalışmada dokunmuş havlu ve havlu kumaşların fiziksel özelliklerinin ve seçilmiş üretim parametrelerinin performans özelliklerine olan etkileri yapılan bir deneysel çalışma ile ortaya konulmaya

çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda gramaj ve hav yüksekliğindeki artışın yumuşaklığı azalttığı tespit edilmiştir. Kadife havluların bukle olanlardan, topu boyalı havluların ise ipliği boyalı havlulardan daha yumuşak olduğu belirlenmiştir. Yürütülen testlerin sonucunda hav yüksekliğindeki artışın hidrofiliteyi artırdığı belirlenmiş olup hidrofilite ile gramaj arasında ise sistematik bir ilişki tespit edilememiştir.

Zervent, Çelik ve Koç tarafından **2003** yılında yapılan çalışmada dokuma havlu üretim prosesi incelenmiştir. Ayrıca gerçekleştirilecek bir dokuma işlemi öncesi gerekli iplik miktarı, çekilecek levant sayısı gibi bilgilere ulaşmak amacıyla kullanılacak eşitlikler belirlenmeye çalışılmış, hesapların yapılabilmesi için gerekli olan teknik parametreler ve mamul özellikleri üzerinde de durulmuştur.

Eren, Alpay ve Karahan, 2004 yılında yaptıkları çalışmalarında havlu dokuma teknolojisini genel olarak değerlendirmişlerdir. Hav oluşturma mekanizmalarında servo motor tahrikinin kullanılması ile daha önce üretilmesi olanaksız olan havlu kumaş yapılarının üretiminin ve havlu kumaş kalitesinin artırılmasının olanaklı hale getirilebildiği belirtilmiştir. Ayrıca havlu kumaşlarda yaygın olarak kullanılan iplik özellikleri ve kumaş konstrüksiyonları da özetlenmiştir. Çalışmada, en çok tercih edilen zemin çözgü iplik numarasının Ne 20/2, atkı iplik numaralarının Ne 20/1, 16/1 ve 12/1, hav çözgü iplik numaralarının ise Ne 16/2, 20/2, 30/2, 8/1, 16/1 ve 20/1 olduğu, gramaj aralığının 380-650 gr/m² şeklinde olduğu belirtilmiştir. Atkı, zemin ve hav çözgü sıklıklarının ise sırasıyla 12-24 atkı/cm, 9-12.5 tel/cm, 9-12.5 tel/cm aralıklarında tercih edildiği ifade edilmiştir.

2004 yılında yapılan çalışmada **Frontczak-Wasiak ve Snyckerski** havluların seçilmiş kullanım özellikleriyle yapı parametreleri arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. 3 atkılı sistemle dokunmuş 10 farklı dokunmuş havlu kumaş numunesinin su emicilik ve yumuşaklık özellikleriyle, hammadde türü, yapısal özellikler ve bitim işlemleri arasındaki ilişkiler tespit edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak gramaj arttıkça yumuşaklığın arttığı ve yıkama işleminden sonra hidrofilite derecesinin yaklaşık %10 civarında yükseldiği belirlenmiştir.

Eren, Alpay ve Karahan (2005) havlu dokuma makinalarında hav oluşturma mekanizmalarını detaylı olarak inceledikleri çalışmalarında mekanik ve elektronik hav oluşum prensiplerini şekil destekli olarak tanıtmışlardır. Ayrıca son yıllarda üretilen havlu dokuma makinalarında hav ve zemin çözgü gerginlik kontrol sistemlerinin geliştirildiği, bilgisayar kontrollü hav oluşturma mekanizmalarının kullanılmaya başlandığı ve makina hızının hav ve bordür kısımlarında farklı değerlere ayarlanabildiği belirtilmiştir. Ayrıca yeni servo motor tahrikli hav oluşum sistemlerinin kullanılması halinde yeni bir havlu tipine geçişte zaman kaybı ve telef oranının minimum olacağı ifade edilmiştir.

Karahan, Eren ve Alpay tarafından 2005 yılında yapılmış olan çalışma dokunmuş havlu kumaşların yapısal özelliklerinin belirlenmesini amaçlayan bir yaklaşımı içermekte olup teorik ve deneysel olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Teorik kısımda havlu kumaşların metrekaresine gramajı, havlu kumaş parametreleriyle analitik olarak değerlendirilmiş ve sıklıklar, hav yüksekliği ve iplik numaraları cinsinden ifade edilmiştir. Ancak havlu endüstrisinde çözgü sıklığı ve iplik numaraları çok fazla değişmediği için sadece atkı sıklığı ve hav yüksekliğinin hesaplanmasında kullanılabilecek bağıntılara da yer verilmiştir.

Deneysel kısımda ise 6 farklı çözgü sıklığı, 4 atkı sıklığı ve 3 farklı hav yüksekliğinde toplam 72 farklı yapıda kumaş dokunmuştur. Dokuma makinası çıkışında ve yıkama işlemi sonrası genişlik ve uzunluktaki kısaltmalar, m^2 gramajı, atkı, hav ve zemin çözgü ipliği oranları ölçülmüş ve yapısal parametrelere bağlı olarak değişimleri analiz edilmiştir. Bu büyüklükler arasındaki etkileşimlerin anlamlılığının test edilmesi amacıyla verilere ANOVA testi uygulanmıştır.

Çalışma sonucunda havlu kumaşlarda dokuma çekmesinin %1.2-2 arasında, yıkamadan sonraki çekmenin ise %5-11 arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca hav yüksekliğinin söz konusu kısaltmalar üzerinde çok fazla etkili olmadığı, atkı sıklığının enine kısaltmaya olan etkisinin düşük anlamlılıkta olduğu ifade edilmiştir. Ancak çözgü sıklığına bağlı olarak uzunluk boyunca meydana gelen çekmelerin anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra hesaplanan ve ölçülen hav yüksekliği değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir.

Yılmaz ve Powell tarafından **2005** yılında yapılmış olan çalışmada havlu karakteristiği, özellikleri, performansı ve yüksek kaliteli dokunmuş havlu kumaş üretimi iplikten konfeksiyona kadar adım adım irdelenmiştir. Bunun yanı sıra havluların sınıflandırılması, yaygın kullanılan iplik ve doku özellikleri ile havluların çeşitli performans özelliklerinin alması gereken değerlerin özetlendiği bir çalışmadır.

Koç ve Zervent (2006), havlu kumaşların hav yüksekliği, gramaj, yumuşatıcı türü, renklendirme şekli gibi bazı özelliklerinin mamul yumuşaklığına etkisini belirlemek amacıyla numune havlular ile deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek havluların fiziksel özellikleri (hav yüksekliği, gramaj, iplik numaraları vb.) ve üretim parametrelerinin (yumuşatıcı cinsi, renklendirme türü ve kadife olma durumu) yumuşaklığa olan etkisi belirlenmeye çalışılmış ve sonuçlar istatistiksel olarak irdelenmiştir.

Zervent ve Koç, 2006 yılında yapmış oldukları çalışmada havlu kumaşların kullanım yeri nedeniyle sahip olması gereken en önemli özellik olan hidrofilite (su emicilik) ve boyut değişimini incelemişlerdir. Mamullerin söz konusu özellikleri ile fiziksel özellikleri (hav yüksekliği, gramaj vb.) ve üretim parametreleri (yumuşatıcı türü, renklendirme şekli gibi) arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi amacıyla farklı özelliklerdeki numunelerle deneysel bir çalışma yürütülmüş ve sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

2.2. Dokunmuş Kumaşlarda Fiziksel ve Performans Özelliklerinin Etkileşimi

İmer (1999), pamuklu kumaşlarda atkı sıklığının bazı kumaş özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Çalışmada, atkı sıklığı ile atkı kopma mukavemeti arasında doğrusal ve anlamlı bir ilişki gözlenmiş, çözgü yönündeki kopma mukavemetinde ise bu ilişkinin zayıf ve anlamsız olduğu ortaya çıkmıştır.

Kurtça (2001), atkı ipliği özellikleri, sıklık ve örgü türünün kumaş mekanik özelliklerine etkisi üzerine bir çalışma yapmıştır. Çözgü iplik numarası ve çözgü sıklığı sabit tutularak atkı iplik numarası, atkı sıklığı ve örgü türü farklı olan (bezayağı, dimi, saten) pamuklu dokuma kumaş numunelerine standartlar esas alınarak testler yapılmış, numunelerin atkı yönündeki yırtılma ve kopma

mukavemetleri incelenmiş, atkı sıklığı-yırtılma mukavemeti, atkı sıklığı-kopma mukavemeti ve yırtılma mukavemeti-kopma mukavemeti değişimleri için regresyon analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda atkı sıklığı ile kopma mukavemetinin aynı yönlü ve pozitif bir ilişkiye sahip olduğu tespit edilmiş, yırtılma mukavemetinin ise doku (örgü) türü ve iplik özelliklerine bağlı olarak farklı davranışlar gösterdiği gözlenmiştir. Yırtılma mukavemeti ile kopma mukavemeti arasındaki ilişkinin aynı yönlü olmasına rağmen ilişkinin kuvvetinin çok yüksek olmadığı, atkı yönünde yırtılma ve kopma mukavemetlerinin her ikisinin de kullanılan iplik incelidikçe düştüğü gözlenmiştir.

Shustov (2002), hazırladığı bir çalışmada pamuklu dokuma kumaşlarda kopma mukavemetini, kumaş yapısal faktörlerinin bir fonksiyonu olarak belirlemiştir. Ring iplik ve rotor iplik eğirme sistemleriyle üretilmiş pamuklu ipliklerden dokunan kumaşlarda, kumaş kopma mukavemetini bezayağı, 2/1 dimi, 2/2 dimi ve 3/1 dimi olmak üzere farklı örgü türleri için incelemiş ve kumaş kopma mukavemetininin örgü türünden etkilendiğini tespit etmiştir.

Kothari ve Chitale (2003), tek ve çift katlı pamuk ipliklerinden dokunan kumaşlarda, gerilme özelliklerini belirleyen bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, çift katlı çözgü ipliği ve tek/çift katlı atkı ipliklerinden dokunan kumaşlarda tek eksenli gerilme davranışı incelenmiş, atkı sıklığındaki artışla atkı yönlü kumaş mukavemetinin arttığı, çözgü yönlü kumaş mukavemetinin ise azaldığı tespit edilmiştir.

Primachenko ve Prokhorova (2003), pamuklu dokuma kumaşlarda kumaş yapı parametrelerinin kopma mukavemeti üzerine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışma ile kumaş konstrüksiyonu ile kopma mukavemeti arasındaki ilişki pamuklu kumaşların bezayağı, dimi ve saten örgüleri için belirlenmeye çalışılmıştır. Kalan parametrelerde küçük bir fark olması kaydıyla, örgü türünün kopma mukavemeti üzerine kesin bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kumaşların tutum değerleri ile mekanik özelliklerinin dokuma yapı parametrelerinden hareketle tahmin edilmesini sağlayan bir model üzerinde çalışan **Morino ve arkadaşları (2005)**, bu amaçla dokuma kumaş tasarımını geliştirmek ve kolaylaştırmak için yeni parametreler tanıtmışlardır. Çalışmanın sonucunda elde

edilen tahmin denklemlerinin istatistiksel belirleyicilik katsayısının yüksek olduğu ifade edilmiştir.

2.3. Üretim Öncesi Tahminleme

Ratnam ve diğerleri (1968), optimum büküm değerinde pamuk/viskon karışımından eğrilen ipliğin mukavemet değeri için bir bağıntı geliştirmişlerdir. Ardından gerçek mukavemet değerleri ile tahmin edilen değerleri karşılaştırmışlar ve sonuçta aralarında iyi bir uyum olduğunu tespit etmişlerdir.

Shahpurwala ve Schwarts (1989), istatistiksel demet teorisi ile dokuma kumaş kopma mukavemetinin modellemesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada kumaş mukavemetinin temelini oluşturan atkı ve çözgü ipliklerinin mukavemet dağılımlarının bilinmesi halinde, dokuma kumaşların kopma mukavemetinin tahminlenmesi amaçlanmıştır. Modelin uygulanabilirliğini saptamak için, 4 değişik kumaş (bezayağı, dimi ve saten dokulu üç farklı pamuklu kumaş ve bezayağı dokulu %100 polyester kumaş) kullanılarak denemeler yapılmıştır.

Kadoğlu, 1993 yılındaki çalışmasında farklı numara ve büküm değerlerindeki ipliklerin özellikleri ile lif özelliklerini MINITAB istatistiksel paket programı ile çoklu regrasyon analizine tabi tutmuştur. Çalışmada iplik özelliklerinin büyük oranda lif özellikleri, iplik numarası, büküm vb. faktörlerden yola çıkılarak üretim öncesi tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Leaf ve diğerleri (1993), bazı kabuller yaparak bezayağı örgü ile dokunmuş kumaşlar için bir model oluşturmuşlardır. Söz konusu modelde, iplik parametreleri (krimp, iplik bükülme rijitliği gibi) ve kumaş parametreleri ile bezayağı örgülü kumaşın bükülme rijitliği arasındaki ilişkiyi belirlemeye çalışmışlar ve deneysel sonuçlarla birlikte sunmuşlardır.

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 kullanılarak çözülmüştür. Bunun yanısıra karışım oranının

elyaf ve iplik parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Bunun sonucunda iplik kopma kuvveti ve elyaf inceliği için uygun regresyon modelleri oluşturulabilmiştir.

Kesikli liften üretilmiş ipliklerin yapısını araştırmak için geometrik bir model geliştiren **Moris ve arkadaşları (1997)**, söz konusu modeli kullanarak iplik tüylülüğünü ve tüylülüğe etki eden lif ve iplik kalite parametrelerini ve etki derecelerini tahmin etmeye çalışmışlardır.

Frydrych (1997) pamuk ipliği üretiminde optimizasyon konulu çalışmasında; iplik mukavemetini yaklaşık olarak tahmin etmek ve karışım komponentlerinin ağırlık dağılımlarını belirlemek için geliştirilmiş bir modeli tanıtmıştır. Ayrıca mukavemet değerinin tahmini için geliştirilen denklem ve bu denklemin çözümünde kullanılan bir bilgisayar programı ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Duru Baykal, 2003 yılındaki çalışmasında karışım teknolojisinde iplik özelliklerinin üretime geçilmeden önce lif özellikleri kullanılarak önceden tahmin edilmesi amacıyla kullanılabilecek bağıntılar oluşturmuş ve iplik özelliklerinin farklı lif karışım oranlarındaki davranışını teorik olarak belirlemeye çalışmıştır.

Frydrych ve Matusiak tarafından **2003** yılında yapılmış olan çalışmada dokunmuş kumaşlar için Genel Tutum Faktörü (GHF) olarak ifade edilen, Instron gerilim ölçme cihazı ile küçük gerilimler altında belirlenen temel mekanik parametrelerle saptanan bu büyüklüğü hesaplayan bir metot geliştirilmiştir. Uygulanan bitim işlemlerinin türü, hammadde, atkı sıklığı ve doku türü gibi bazı faktörlerin GHF değeri üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Dokuma türü göz önüne alındığında bezayağı dokulu kumaşların en düşük tutuma, saten ve kombine dokumaların ise en iyi tutum derecesine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca en yüksek GHF değerinin en düşük atkı sıklığına sahip kumaşlarda olduğu tespit edilmiştir.

Jeon, Chun ve Hong'un 2003 yılında yaptıkları çalışmalarında Peirce modeli kullanılarak, dokunmuş kumaşların yapısal ve mekanik özellikleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada pamuk, yün, polyester ipliklerden dokunmuş, bezayağı, saten, dimi doku türlerinde çeşitli kumaş yapıları incelenmiştir. Burada söz konusu model kullanılarak atkı ve çözgü ipliklerinin çapları yeniden tanımlanmış ve modifiye edilmiş çaplar, kumaşın mekanik ve yapısal özelliklerinin (kumaş kalınlığı,

krimp, dökümlülük ve gerilme davranışları) tahmini için kullanıldığında, tahmin edilen değerlerin ölçülenler ile uyum gösterdiği tespit edilmiştir.

Majumdar ve Majumdar 2004 yılındaki çalışmalarında pamuklu ring ipliklerinin kopma uzamasının tahminlenmesi için üç farklı yöntem kullanmışlar ve bu modelleri tahminleme güçlerine göre karşılaştırmışlardır. Söz konusu modeller matematiksel, istatistiksel ve yapay sinir ağı modelleridir. Burada mukavemet, elastikiyet, üniformite, UHML (üst yarı ortalama uzunluğu), mikroner, yansıma faktörü, sarılık derecesi gibi elyaf özellikleri ile iplik numarası değişken olarak kullanılmıştır.

Belirtilen üç farklı yöntemle oluşturulan denklemlerle tahmin edilen kopma uzaması değerleri ile deneysel olarak elde edilen gerçek değerler korelasyon analizi ile karşılaştırılmıştır. Buna göre en yüksek korelasyon katsayısı değeri ($R=0.938$) yapay sinir ağı modeli (ANN) ile elde edilmiş olup, ortalama mutlak hata ise %5'ten düşük olmuştur. Bu nedenle ANN modelinin tahmin gücünün diğer modellerden daha iyi olduğu söylenebilmektedir. Matematiksel model en kötü tahmin performansına sahip olmuş ve düşük korelasyon katsayısı ($R=0.731$) ile yüksek ortalama mutlak hata (%10.05) değerleri elde edilmiştir. İstatistiksel modelin tahmin gücünün ise ANN ve matematiksel modellerin arasında olduğu belirlenmiştir.

Bunların yanısıra çalışma sonucunda pamuklu ring ipliklerin kopma uzamasını en çok elyaf uzamasının etkilediği, elyaf uzunluk üniformitesi, sarılık ve iplik numarasının ise diğer baskın parametreler olduğu tespit edilmiştir.

Wu ve Pan (2005) hazırladıkları bu çalışmada, kumaşların kopma mukavemetini tahmin etmek amacıyla kullanılmak üzere teorik bir eşitlik oluşturdukları 2003 yılındaki çalışmalarının geçerliliğini deneysel olarak test etmişlerdir. Bu amaçla ikisi pamuklu bezayağı dokulu, biri saten dokulu yünlü ve diğerleri bezayağı örgüyle dokunmuş PES ve polietilen olan kumaşların şerit yöntemiyle kopma mukavemetlerini belirlemişler ve teorik modelden tahmin edilen değerlerle karşılaştırmışlardır. Sonuçta ölçülen ve tahminlenen değerlerin birbirine yakın olduğu, böylece teorik modelin kopma mukavemetinin tahminlenmesinde kullanılabileceği belirlenmiştir.

2.4. Maliyet Hesabı ve Optimizasyon

Yelken (1967), çalışmasında maliyet kavramını oldukça detaylı bir şekilde ele alarak pamuklu tekstil endüstrisinde birim maliyetlerin hesaplanmasına ilişkin bilgiler vermiştir. Ayrıca iplik, dokuma ve terbiye aşamaları ayrı ayrı incelenerek bu proseslerde, hammadde, işçilik, yardımcı madde vb. maliyetlerinin tespiti için kullanılabilecek eşitlikler özetlenmiştir.

Erel, 1988 yılında yapmış olduğu çalışmasında Türk pamuklu tekstil endüstrisinde maliyet analizleri üzerinde durmuş, tekstilde üretimin tüm aşamaları için ayrı ayrı olmak üzere maliyetlerin yapısı ve özellikleri hakkında bilgi vermiştir. Ayrıca birim maliyetlerin hesaplanış şekli, seçilmiş bir işletmenin verileri kullanılarak açıklanmaya çalışılmıştır.

Tan 1989 yılındaki çalışmasında önceden belirlenen özellikleri taşıyan bir kumaşın oluşturulması için gerekli tasarım parametrelerinin en uygun biçimde seçimini sağlayacak bir model oluşturmayı amaçlamış ve üretim optimizasyonunu fiziksel kalite ve maliyetin fonksiyonu olarak incelemiştir.

1990 yılındaki çalışmasında **Özak** malzeme, işçilik ve genel imalat maliyetlerini incelemiş, maliyetleri etkileyen etkenler üzerinde durmuş ve birim maliyet hesaplama yöntemlerini eşitlikler ve örnek hesaplamalarla vermiştir.

El Mogahzy tarafından **1992** yılında yapılmış olan bir çalışmada tekstil uygulamalarında lineer programlama yönteminin tanıtılması ve maliyet optimizasyonunda parametrik ve duyarlılık analizlerinin kullanılmasının faydalarının gösterilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmanın birinci bölümünde kurulan bir modelde üç farklı pamuktan oluşan karışımlarda HVI lif özellikleri ayrı ayrı dikkate alınarak, grafik ve simplex metotları kullanılarak maliyeti minimum tutacak optimum karışım oranları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise programda kullanılan ve HVI lif özellikleri ile belirlenen kalite kısıtları tanımlanmıştır. Söz konusu kısıtlar; lif kalite indeksi ve iplik mukavemeti olup, lif mukavemeti, lif uzunluğu ve lif inceliği etkilerinin birleştirilmesi ile oluşturulan lif kalite indeksinin kalite kısıtı olarak kullanımıyla

elde edilen optimum maliyetin, lif özelliklerinin bireysel olarak kullanımıyla hesaplanan optimum maliyetten daha düşük olduğu görülmüştür.

Özgan (1995) çalışmasında, maliyeti belirleyen hammadde, işçilik ve genel imalat giderlerini ve bu faktörlerin verimlilik üzerine etkilerini irdlemiştir. Belirlenen bir pamuklu dokuma fabrikasında üretilen kumaşlardan iki örnek seçilerek üretim parametrelerinin değişmesi durumunda maliyetin etkilene biçimi belirlenmeye çalışılmıştır. Söz konusu üretim parametreleri çözgü ve atkı ipliklerinin numaraları, sıklıklar, üretim randımanı, işçilik ve genel işletme giderleri olup, dokuma kumaş maliyeti içinde en büyük paya sahip parametrenin hammadde olduğu, ikinci sırada ise genel işletme giderlerinin yer aldığı belirtilmiştir.

Yapılan çalışmada üretim maliyetini etkileyen faktörler; hammadde, işçilik ve genel imalat giderleri (enerji, amortisman, finansman vb.) başlıkları altında incelenmiştir.

Tekstil proseslerinin kontrolü ve optimizasyonuna bir yaklaşımın sunulduğu **Sungshin ve Hyung** tarafından **1999** yılında yapılan çalışmada aralarında kuvvetli bağlar bulunan ana işletme proseslerinin kontrolü ve optimizasyonu için etkili bir metot ortaya konulmaya çalışılmıştır. Burada amaç, verimliliği maksimize etmek ve aynı zamanda daha sonraki işlem aşamalarının her birindeki eksiklikleri ve yanlışlıkları gidermektir. Çözgü hazırlama, haşıl ve dokuma olmak üzere üç procesten oluştuğu düşünülen bir tekstil fabrikası yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek için kullanılmıştır. Burada maksimum verimlilik için haşıl ve dokuma dairesinden gelen bilgiler ve çözgü hazırlama datalarına bağlı olarak kontrol noktalarının sürekli olarak düzenlenmesi önerilmektedir.

Bilge, 2000 yılında yapmış olduğu çalışmasında dokuma kumaş üretimi yapan işletmeler için maliyet yönetim sistemi kurmak amacıyla etkin bir veri toplama sistemi, hızlı ve doğru bir maliyetleme, maliyet-hacim-kar analizleri, faaliyet riski analizi ve faaliyet esaslı maliyet sistemi üzerinde durmuştur.

Chen ve Leaf tarafından **2000** yılında yapılan çalışmada endüstriyel uygulamalar için dokunmuş kumaşların teknik olarak modellenmesi amaçlanmıştır. MECHFAM adlı bir yazılım kullanılarak, kumaşın yapısal parametrelerini optimize etmek amacıyla bir model geliştirilmiştir. Ayrıca Leaf ve arkadaşları önceki yıllarda

bezayağı dokulu kumaşlar için yüksek geçerliliğe sahip çekme, yırtılma ve eğilme modüllerini kapsayan kullanışlı denklemler geliştirmişler ve söz konusu eşitliklere bu çalışmada kurulan modelde kısıt olarak yer vermişlerdir. Optimizasyon modelinin amaç fonksiyonu olarak üretim maliyetlerini; direkt malzeme maliyetleri, direkt çalışma maliyeti ve genel masraflar olmak üzere üç kategoriye ayırarak geliştirilen maliyet ifadesi kullanılmıştır.

Sabır, 2000 yılında yapmış olduğu çalışmada iplik işletmelerinde maliyeti minimum yapacak bir üretim planlaması modeline lineer programlama yaklaşımında bulunmuştur. Bu amaçla iplik üretimi öncesi işlemler, üretim aşamaları, kapasiteler, iplik talep durumu ve kullanılacak hammadde durumu değerlendirilerek kısıtlar ve amaç fonksiyonu oluşturulmuş ve model kurularak çözülmüştür.

Çalışmada maliyet unsurları sabit ve değişken olma niteliklerine göre sınıflandırılmış ve seçilmiş bir kumaş tipi için mevcut birim satış fiyatı düşünülerek maliyet-hacim-kar analizleri yapılmıştır. Kara başlama noktasındaki üretim miktarı ile belli bir kar hedeflenmesi durumunda üretilmesi gereken kumaş miktarı hesaplanmıştır.

Sipahioğlu ve Saraç, 2002 yılında LINGO modelleme dili hakkında geniş bilgi içeren, LINGO menülerinin tanıtıldığı, oluşturulan modelin LINGO'ya açık ve kapalı formda yazımının anlatıldığı ve çözüm işlemi sonucu elde edilen raporun detaylı olarak yorumlandığı bir kullanım kılavuzu hazırlamışlardır. Ayrıca LINGO'da kullanılan komutlar, özel fonksiyonlar ve örnek modellerle bu modellerin çözümlerine de yer verilmiştir. Bunun yanı sıra duyarlılık analizi konusu ele alınmış ve LINGO'daki uygulama şekli ve yorumlanışı hakkında bilgi verilmiştir.

3. HAVLU VE HAVLU KUMAŞLAR

3.1. Türkiye’de Havlu Üretimi ve Dış Ticareti

Dünyada pek çok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de tekstil ve konfeksiyon sektörü istihdam ve dış ticaret açısından en önemli sektörlerden biri olup, Türkiye’nin hazır giyim ve tekstil ürünleri ihracatı sürekli bir artış eğilimi içerisinde olmuştur. Çizelge 3.1’de 2000-2005 yılları arasında Türkiye’nin tekstil ve konfeksiyon ihracatı ile bu değerlerin genel ihracat miktarı içerisindeki payı verilmiştir. Çizelge 3.2’de ise benzer şekilde ithalat verileri görülmektedir.

Çizelgeden görüldüğü gibi tekstil ve konfeksiyon toplam ihracatı değer bazında 2000-2005 yılları arasında artış gösterirken, genel ihracat içindeki payı (%) giderek azalmıştır. Ancak buna rağmen en düşük %25’lik pay ile tekstil ve konfeksiyon sektörünün Türkiye’nin genel ihracatı içinde önemli bir yere sahip olduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 3.1. Yıllar itibariyle tekstil ve konfeksiyon ihracatı (Değer:1000 \$)
(www.itkib.org.tr, 2006)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Genel ihracat	27.774.906	31.334.216	35.081.121	47.880.277	64.026.635	73.426.151
Konf. ihracatı	7.256.315	7.335.856	8.897.369	11.516.422	13.095.495	13.708.378
Konfeksiyonun genel ihracattaki payı (%)	26,1	23,4	25,4	24,1	20,5	18,7
Tekstil ihracatı	2.845.325	3.060.947	3.152.867	3.661.104	4.564.760	4.861.288
Tekstilin genel ihracattaki payı (%)	10,2	9,8	9,0	7,6	7,1	6,6
Tekstil+Konf. ihracatı	10.101.641	10.396.803	12.050.236	15.177.526	17.660.255	18.569.666
Tekstil ve konfeksiyonun genel ihracattaki payı (%)	36,3	33,2	34,4	31,7	27,6	25,3

Çizelge 3.2. Yıllar itibariyle tekstil ve konfeksiyon ithalatı (Değer:1000 \$)
(www.itkib.org.tr, 2006)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Genel ithalat	54.502.821	41.399.083	50.831.702	69.339.692	97.539.766	116.048.269
Konfeksiyon ithalatı	256.417	222.995	263.321	406.097	622.574	750.778
Konfeksiyonun genel ithalattaki payı (%)	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
Tekstil ithalatı	3.213.926	2.745.768	3.819.846	4.665.939	5.661.232	5.947.821
Tekstilin genel ithalattaki payı (%)	5,9	6,6	7,5	6,7	5,8	5,1
Tekstil+Konf. ithalatı	3.470.344	2.968.763	4.083.167	5.072.037	6.283.806	6.698.599
Tekstil ve konfeksiyonun genel ithalattaki payı (%)	6,4	7,1	8,0	7,3	6,4	5,7

Türkiye'nin tekstil ve konfeksiyon ihracatı içerisinde ev tekstil ürünlerinin yeri ise 2003-2005 yılları için değer bazında Çizelge 3.3'te verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi Türkiye'de ev tekstili ihracatının genel tekstil ve konfeksiyon ihracatı içindeki payı son yıllarda ortalama %10 seviyesinde olmuştur. İthalatın ise, ihracat ile karşılaştırıldığında oldukça düşük bir seviyede olduğu çizelgeden görülebilmektedir. Ancak ithalatın gelişimi incelendiğinde, oldukça güçlü bir artışın gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 3.3. Tekstil ve konfeksiyon sektöründe ev tekstili dış ticareti (Değer:1000 \$)
(www.igeme.gov.tr, 2006)

Yıl	Ev tekstili ihracatı	Tekstil ve konfeksiyon ihracatı	Pay (%)	Ev tekstili ithalatı	Tekstil ve konfeksiyon ithalatı	Pay (%)
2003	1.575.234	15.121.868	10,4	23.468	5.072.037	0,5
2004	1.782.063	17.604.857	10,1	35.832	6.283.806	0,6
2005	1.829.911	18.881.945	9,7	58.054	6.698.599	0,9

Türkiye'nin ev tekstili üretimi, ihracatın yükselmesine paralel olarak artış göstermiş olup, DPT verilerine göre 2002'de 243.8 bin ton olan ev tekstili üretimi, 2003 yılında 274 bin ton, 2004'te ise yaklaşık 297.3 bin ton olarak gerçekleştirilmiştir.

Sektör üretiminin yoğunlaştığı başlıca iller; Bursa, Denizli, İstanbul, İzmir ve Uşaktır. Bursa özellikle havlu, tül ve çarşaf, Denizli havlu ve çarşaf, Uşak battaniye ve İstanbul ise tül ve çarşaf üretiminin yoğun olduğu illerdir.

Havlu ve havlu kumaşların Türkiye'deki üretim merkezleri ise Denizli, Bursa, Kayseri ve Gaziantep'tir. Türkiye'de 2005 verilerine göre yaklaşık 381 firmada yılda 100.000 ton havlu ve bornoz üretimi gerçekleşmekte ve bunun yaklaşık 70.000 ton'u ihraç edilmektedir. Sektör yaklaşık 40.000 kişiye istihdam sağlamakta olup 2005 yılında 612 milyon dolar ihracat gerçekleştirilmiştir (www.igeme.gov.tr, 2006).

Denizli sadece Türkiye'nin değil dünyanın havlu üretim merkezi olup, 181 firmada havlu ve bornoz üretimi yapılmaktadır. 2005 yılında dünyanın pamuklu havlu ihracatının %8,1'ini, bornoz ihracatının ise %15'ini Denizli tek başına gerçekleştirmiştir (www.igeme.gov.tr, 2006).

Çalışma kapsamında ele alınan havlu kumaşların dış ticaret verileri, ev tekstili ihracat ve ithalatı içerisindeki paylarıyla birlikte Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Türkiye'de havlu dış ticareti (Değer:1000 \$) (www.igeme.gov.tr, 2006)

Yıl	Havlu ihracatı	Ev tekstili ihracatı	Pay (%)	Havlu ithalatı	Ev tekstili ithalatı	Pay (%)
2003	446.426	1.575.234	28,3	1.367	23.468	5,8
2004	543.883	1.782.063	30,5	1.855	35.832	5,2
2005	612.358	1.829.911	33,4	2.606	58.054	4,5

Çizelgeden de görüldüğü gibi Türkiye'nin ev tekstili ihracatında havlu oldukça yüksek bir paya sahip olup, ilk sırada yer almaktadır. 2001-2004 döneminde yıllık ortalama %25 gibi oldukça yüksek bir artış oranı elde edilen havlularda 2005 yılı ihracatı 2004'e göre %12,6'lık bir artış göstermiştir. 2005 yılında gerçekleştirilen

ihracatın %24'ü ABD'ye, %19'u Almanya'ya, %16'sı İngiltere'ye, %7'si Fransa'ya gerçekleşmiştir (www.igeme.gov.tr, 2006).

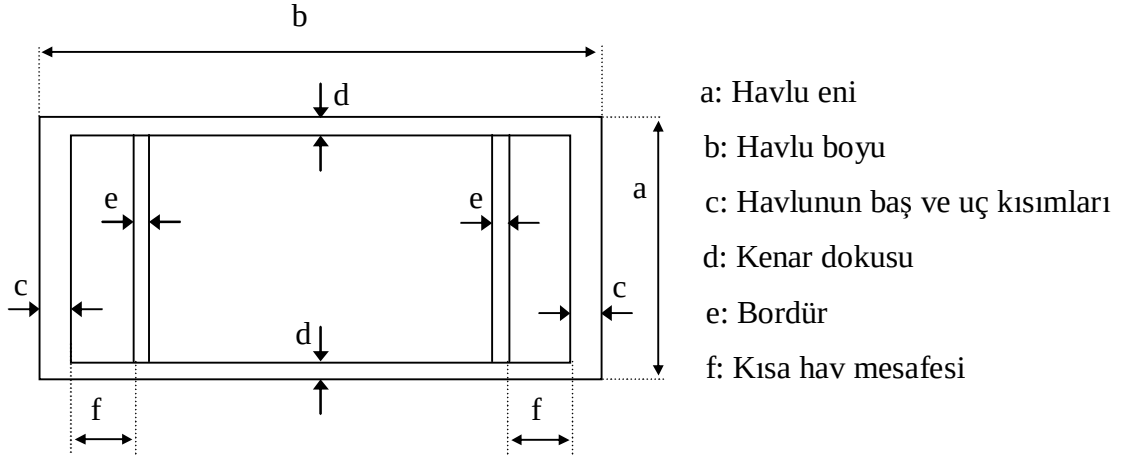
Havlular ise son yıllarda düzenli bir artış göstermiş ve 2005 yılında 2.6 milyon dolar civarında gerçekleşmiş olup ev tekstili ithalatı içindeki payı %4.5 civarında olmuştur. Havluların en fazla ithal edildiği ülkeler; ABD (%12), Hindistan (%12), Almanya (%11), Çin (%11), İngiltere (%8) olmuştur (www.igeme.gov.tr, 2006).

3.2. Havluların Temel Özellikleri ve Sınıflandırılması

Kumaş üzerinde farklı bir yüzey özelliği oluşturmak amacıyla yerleştirilmiş olan ipliklerin ilmek veya püskül formunda zeminden dışa çıkması ile oluşturulan “hav” denilen yapıya sahip kumaşlara “havlı kumaşlar” denilmektedir. Battaniye, halı, kadife kumaş ve havlular bu sınıfa girmektedir. Battaniyeler fırçalama, tüylendirme gibi terbiye işlemleriyle havlı yapı kazanmaktadır. Kadife kumaşlar ise genellikle ilave bir iplik sistemiyle yüzeyde uçları kesik halde ilmeklerin oluşturulması ile üretilmektedir. Halılar kadife kumaş üretimiyle benzer sistemler kullanılarak veya iğneleme, yapıştırma gibi dokusuz yüzey oluşturma yöntemleriyle elde edilebilmektedir. Havlular ise ilave iplik sistemiyle dokuma veya örme yöntemleri kullanılarak oluşturulan, yüzeyi ilmek formunda havlarla kaplı ürünler olup, söz konusu havların kesilmesiyle ise kadife havlular üretilmektedir.

Havlular, farklı en ve boylarda, dört tarafı bez formunda dokunmuş veya örülmüş, tek tarafı veya çift tarafı havlı olabilen, genellikle kurulama amaçlı kullanılan tekstil mamulleridir.

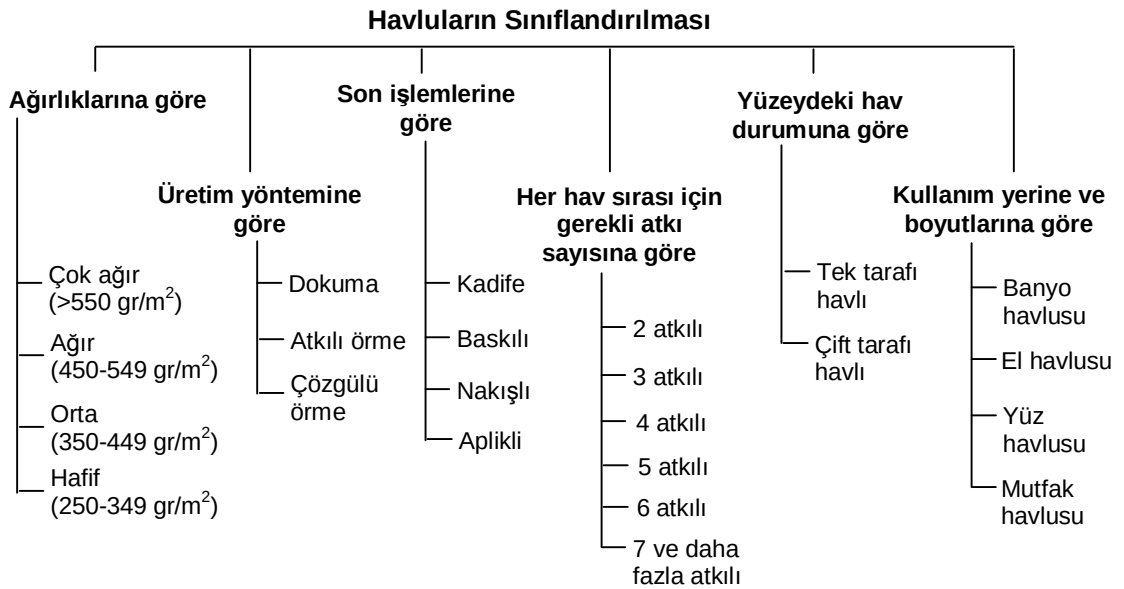
Havlular kumaşlar ile düz dokunmuş veya örülmüş kumaşların fiziksel özellikleri, sadece havlularda bulunan bazı özellikler dışında hemen hemen aynıdır. Havlularda farklı olarak bordür, hav verimi, kısa hav mesafesi gibi kavramlar tanımlanabilmektedir. Şekil 3.1'de tipik bir havlu şematik resmi üzerinde bölümleri verilmiştir.



Şekil 3.1. Tipik bir havlu şematik gösterimi (Zervent, 2002)

Şekilden de görüldüğü gibi havlular genellikle iki uzun, iki kısa kenardan (baş, uç ve kenar dokuları), tek veya çift taraflı bordürden, bordür ile baş ve uç dokusu arasında kalan ve kısa hav mesafesi olarak ifade edilen kısımlardan ve havlı bölgeden oluşmaktadır.

Havlular genel olarak ağırlıklarına, üretim yöntemlerine, gördüğü son işlemlere, yüzeydeki hav durumuna, kullanım yerine ve boyutlarına göre sınıflandırılabilir. Sözkonusu sınıflandırma Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2. Havluların sınıflandırılması (Yılmaz ve Powell, 2005)

Yukarıdaki sınıflandırmaya göre üretimi en yaygın olarak gerçekleştirilen havlular; dokuma yöntemine göre 3 veya 4 atkılı sistemle, çift tarafı havlı olarak üretilmiş havlulardır. Genel olarak kadife havlular bukle havlulara oranla daha yüksek yumuşaklık sağlarken, hidrofiliteyi daha düşük olmaktadır. Bunun yanı sıra çift tarafı havluların hidrofilitesi de tek tarafı olanlara oranla daha yüksek olmaktadır.

3.3. Havlu Üretimi

3.3.1. Havlu Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Havlu kumaşların yüksek hidrofilite, yüksek yaş mukavemet, iyi boyanabilme yeteneği, yüksek renk haslığı, yıkanabilirlik, yumuşak tutum, anti alerjilik gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir. Pamuktan üretilmiş iplikler bu özelliklerin tümünü en verimli şekilde sağlayabildiğinden havlu kumaş üretiminde en yaygın kullanılan elyaf pamuktur.

Pamuğun yanı sıra modal, bambu, lyocell, soya, mısır, deniz yosunu ve keten gibi lifler de havlu üretiminde düşük oranda da olsa kullanılabilir. Bambu lifi yumuşak, antibakteriyel ve yüksek düzeyde emici olması nedeniyle havlularda kullanılabilir olmasına rağmen, üretim miktarı düşük olduğundan henüz yaygınlaşmamıştır.

Ketenin ise kuru mukavemeti pamuktan yüksektir ve pamuk gibi yaş halde mukavemeti %25 oranında artmaktadır. Ayrıca emiciliği de çok yüksek olan bu lif sert tutumu ve işleme prosesinin oldukça uzun olması nedeniyle havlularda çok yaygınlaşamamış olmasına rağmen bazı özel masaj ve sauna havlularının üretiminde kullanılabilir.

Sentetik ve sentetik karışımı ipliklerin havlu üretiminde kullanımı sınırlı olup sık yıkanan otel havlularında nadiren zemin ve atkıda polyester/pamuk karışımı kullanılabilir. Böylelikle havluların hem sık yıkamaya karşı dayanıklı olması hem de yıkama sonrası çekmezlik özelliğinin gelişmesi sağlanmaktadır. Bunun yanı sıra ağırlıklarının 5-7 katı kadar su absorplayabilmeleri nedeniyle son yıllarda

mikrofilament polyesterden yapılmış iplikler pamuk ile karıştırılarak havlu üretiminde kullanılmaya başlanmıştır.

Havlu üretiminde %100 kayın ağacı selülozundan elde edilen modal lifi kullanımı da son yıllarda artış göstermiştir. Söz konusu lif pamuğa oranla son derece yüksek yumuşaklık, hidrofilite, boyama sonrası renk parlaklığı, yüksek renk haslığı ve bakım kolaylığı gibi özelliklere sahiptir. Ayrıca pamukla karıştırılmasıyla, pamuğun sık yıkama sonrası sertleşme ve sararma sorunu büyük ölçüde çözülmüş olmaktadır (www.lenzing.com, 2006).

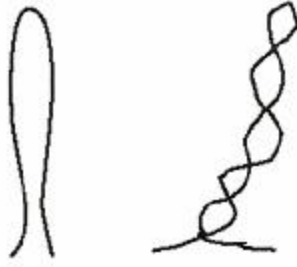
3.3.2. Havlu Üretiminde Kullanılan İplik Özellikleri

Havlular; hav çözgüsü, zemin çözgüsü ve atkı (bordür ve/veya havlı bölge için) olmak üzere üç iplik sistemiyle üretilebilmektedir. Ancak bordür atkı ipliği sadece bordürlü havlular için geçerlidir.

Zemin çözgüsü olarak kullanılan iplikler: Zemin çözgü iplikleri dokuma esnasında daha fazla gerilime maruz kaldıklarından hem mukavemetli hem de esnek olmak zorundadır. Bu nedenle zemin çözgüsünde genellikle katlanmış, yüksek bükümlü iplikler tercih edilmekte olup son yıllarda haşıl teknolojisindeki gelişmelerin sonucunda iyi haşılanmış tek kat ipliklerde kullanılmaya başlanmıştır. Zemin çözgüsü olarak genellikle karde ring iplik tercih edilmekte, ancak fiyat ve maliyet baskısı nedeniyle open end iplikler de kullanılabilmektedir. Zeminde katlı bükümlü iplik olarak yaygın şekilde Ne 20/2 veya 24/2 numaralarında ve 500-550 t/m arası büküme sahip iplikler tercih edilmekte, sık kullanılsa da tek kat olarak 12/1 veya 10/1 ipliklere de haşılı olarak yer verilebilmektedir. Bunun yanı sıra zemin çözgüsü olarak genellikle %100 pamuklu iplikler tercih edilmekte olup, yüksek mukavemet için pamuk/polyester karışımı da kullanılabilmektedir.

Hav çözgüsü olarak kullanılan iplikler: Hav çözgüsü olarak kullanılan iplikler, bitmiş havlu özelliklerinin belirlenmesinde oldukça önemli bir yere sahip olup havlunun gramajı, kadife veya bukle olacağı gibi kriterlere uygun hav ipliği seçimi yapılması gerekmektedir. Hav çözgüsü olarak genellikle %100 pamuklu, tek veya çift katlı iplikler kullanılabilmekte olup katlı iplikler dik havlı klasik

havlularda, tek katlı iplikler spiral havlı havlularda tercih edilmektedir. Şekil 3.3'te iki tip hav yapısı görülmektedir. Çift katlı ipliklerde belli bir değerde büküm verilmesi ipliğin haşsızsız olarak çalışması için yeterli olabilmektedir.



Şekil 3.3. Hav çeşitleri (Yılmaz ve Powell, 2005)

Hav çözgüsü olarak kullanılacak iplikler için pratikte kullanılan büküm sayısı 200-255 t/m civarında olup büküm sayısının az olması havlunun tuşe ve su emiciliğinin daha iyi olmasını sağlamakta, ancak mukavemette düşüş meydana gelmektedir. Büküm sayısı arttıkça da dokuma esnasında daha az sorunla karşılaşmakta, dokuma randımanı daha yüksek olmaktadır. Ayrıca havların dizilimi çok daha düzgün olmakta, kadifelendirme daha kolay yapılabilmekte ve düşük bükümlü ipliğe göre daha az kadife firesi gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra yüksek hav boylarında, düşük bükümlü ipliklerde görülen hav yatma problemi olmamakta veya daha az olmaktadır.

Endüstride yaygın olarak kullanılan hav çözgü iplik numaraları Ne 16/2, 20/2, 24/2, 30/2, 8/1, 10/1, 12/1, 16/1 ve 20/1 şeklinde sıralanabilmektedir. Havda kullanılan ipliğin kalınlaşması yüzey örtücülüğünün artmasını (zeminin daha az görünmesi) sağlamaktadır. Ayrıca üretilecek mamulün kalitesine bağlı olarak penye, karde veya open end ipliklerle çalışılabilmekte olup open end iplik kullanılarak üretilen mamullerde tuşe daha sert ve su emicilik daha zayıf olmaktadır.

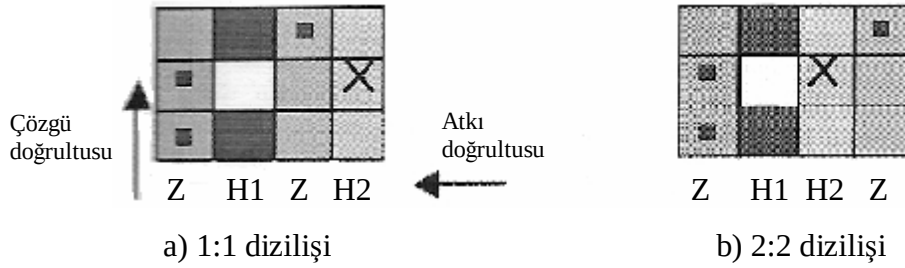
Atkı olarak kullanılan iplikler: Atkı ipliği havlunun kalitesinin yanı sıra dokuma randımanı açısından da oldukça önemli olup istenen havlunun gramaj ve sıklığına bağlı olarak uygun atkı ipliğinin seçilmesi gerekmektedir. Endüstride yaygın olarak %100 pamuklu, Ne 20/1, 16/1 ve 12/1 numaralarda ve 240-255 t/m büküme sahip iplikler tercih edilmektedir.

Havlularda isteğe bağlı olarak fantezi örgülerle veya çok geniş bir aralıkta farklılık gösterebilen atkı iplikleriyle bordür oluşturulabilmektedir. Bordürlerde rayon, viskon, polyester, şönil, merserize gibi farklı tip ve numaralarda iplikler kullanılabilmektedir.

3.3.3.Havlü Üretiminde Yaygın Kullanılan Kumaş Konstrüksiyonları

Havlü kumaşlar kullanım yerine bağlı olarak değişik konstrüksiyonlarda üretilebilmektedir. En yaygın kullanılan hav oluşturma sistemi 3 atkılı sistemdir. Temel Türk havlularında hav ve zemin çözgüleri, ön ve arka yüzde ayrı ayrı R 2/1 bağlantısı yaparak dokuyu oluşturmaktadırlar.

Çözgüler kumaşın eni doğrultusunda 1 hav-1 zemin veya 2 hav-2 zemin şeklinde dizilebilmektedir. Şekil 3.4'te 3 atkılı havlü dokusu 1:1 ve 2:2 çözgü dizilişlerine göre ayrı ayrı şematik olarak verilmiştir.



- Z : Zemin çözgü ipliği
H1 : Ön yüz hav çözgü ipliği
H2 : Arka yüz hav çözgü ipliği
■ : Zemin çözgüsünün üstte olduğu konum
■ : Ön yüz hav çözgüsünün üstte olduğu konum
⊗ : Arka yüz hav çözgüsünün üstte olduğu konum

Şekil 3.4. 3 atkılı havlü dokusu örgü raporları (Yılmaz ve Powell, 2005)

Endüstride havlü kumaş üretiminde yaygın olarak kullanılan atkı sıklığı değeri 12-25 atkı/cm arasında değişirken, çözgü sıklığı 18-30 çözgü/cm aralığında

farklılık göstermektedir. Ancak bordürde atkı sıklığı genellikle havlı bölgeye nazaran 3-6 kat arttırılabilmektedir.

Birim uzunluktaki hav çözgü ipliği miktarı hav/zemin oranı olarak ifade edilmekte olup söz konusu değer genellikle 2-10 aralığında değişmektedir. Bu oran kumaş ağırlığını, kalınlığını ve çeşitli performans özelliklerini doğrudan etkilediğinden son derece önemli bir büyüklüktür.

Bunun yanı sıra en yaygın kullanılan gramaj değerleri ise 380-650 gr/m² arasında değişmekte olup, teknik olarak 300-1200 gr/m² aralığında gramaja sahip havlu üretimi yapmak mümkün olabilmektedir.

3.3.4.Havlu Üretim Prosesi

Havlu üretim prosesi genel olarak iplik, dokuma/örme, terbiye ve konfeksiyon aşamalarından oluşmaktadır. Havlu kumaş üretiminde kullanılacak iplikler ring veya open-end iplik eğirme sistemleri ile oluşturulabileceği gibi hav çözgü iplikleri özel yöntemlerle de üretilebilmektedir. “no-twist” olarak ifade edilen iplikler hidrofilitesi yüksek olduğundan hav çözgüsü olarak kullanılabilir. Bu yöntemde çok düşük bükümlü iplikler PVA (polivinilalkol) ile kaplanmakta, böylelikle dokumadaki gerilime dayanabilmekte ve dokuma sonrası özel işlemlerle söz konusu madde ipliklerin üzerinden atılmaktadır.

Havlu kumaş üretiminde doku oluşturma yöntemi olarak genellikle dokuma işlemi tercih edilmektedir. Havlu üretiminde büyük çoğunlukla doğal lifler hammadde olarak kullanıldığından ön terbiye işlemleri oldukça önemli bir proses basamağıdır. Renklendirme aşamasında ise kumaş formunda boyama veya baskı işlemleri uygulanabileceği gibi boyalı ipliklerle de üretim yapılabilir.

Havlu kumaşların kullanım yeri nedeniyle yüksek hidrofilite ve yumuşaklık derecesine, yüksek renk haslıklarına sahip olması gerektiği için bitim işlemlerinde öncelikle bu özellikler göz önünde bulundurularak uygulamalar gerçekleştirilmektedir. En yaygın uygulanan kimyasal apre işlemleri hidrofilleştirme, yumuşatma ve antibakteriyel apre işlemleri, mekanik bitim işlemleri ise turban makinasında kurutma ve boyut stabilitesi işlemleridir.

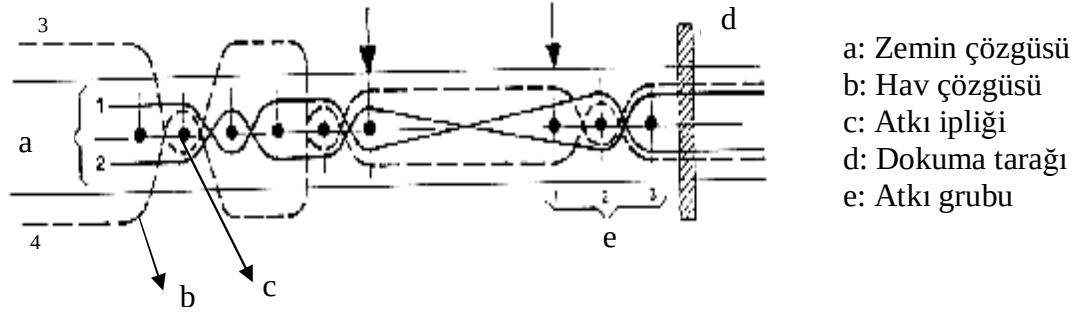
Konfeksiyon aşamasında ise terbiye işleminden çıkmış top halindeki havlulara sırasıyla boyuna kesim, boyuna dikim, enine kesim ve enine dikim işlemleri uygulanmaktadır. İlk aşamada top içerisinde, yanyana dokunmuş halde bulunan havlular özel bir makina yardımıyla boyuna doğrultuda kesilerek birbirinden ayrılmakta ve daha sonra başka bir makinada havluların uzun kenarları içe katlanarak dikilmektedir. Ardından arka arkaya sıralı halde bulunan bu havlular kısa kenarlarının birleştiği yerlerden kesilerek ayrılmakta ve bu kenarlar da içe katlanarak dikilmektedir.

Bunun yanısıra çok büyük ebatlarda (yaklaşık olarak tezgah genişliğinin 1/3'ü eninde ve top boyunca uzanan) üretilen havlu kumaşlarda mevcut olup, bunlar bornoz üretiminde kullanılmaktadır. Söz konusu üretim diğer hazır giyim ürünlerinde olduğu gibi serim, kesim, dikim ve paketleme işlemlerinden oluşan bir konfeksiyon prosesiyle gerçekleştirilmektedir.

3.3.4.1.Havlu Dokuma İşleminin Temel Prensibi

Havlu üretiminde yaygın olarak kullanılan doku oluşturma yöntemi dokuma olup çalışma kapsamında numune olarak dokunmuş havlu kumaşlar kullanılmıştır. Bu nedenle bu bölümde havlu dokuma işleminin temel prensibine kısaca yer verilmiştir.

Havlu kumaşlar, zemin doku ve zemin dokuya bağlanmış hav ilmeklerinden oluşmaktadır. Bir sıra havın oluşturulması için atılması gereken atkı sayısına göre havlu dokuma sistemleri 2-3-4-5-6 ve 7 atkılı şeklinde sınıflandırılmakta olup 3 ve 4 atkılı sistemler endüstride en yaygın kullanılan yöntemlerdir. 4 atkı gruplu hav oluşum tekniği ile daha kaliteli havlular üretilmesine rağmen 3 atkılı havlular ekonomik olması nedeniyle daha çok tercih edilmektedirler. Şekil 3.5'te 3 atkılı sistemle dokunmuş tipik bir havlu kesiti görülmektedir.



Şekil 3.5. 3 atkılı havlu kesiti (Koç ve Zervent, 2005)

Şekilde görülen 1 ve 2 nolu iplikler zemin çözgülerini, 3 ve 4 nolu iplikler ise hav çözgü ipliklerini ifade etmektedir. En son hav sırasının oluşumundan sonra atılan ilk iki atkı (1 ve 2 nolu atkılar) kumaş çizgisinden bir miktar uzağa kadar (söz konusu mesafe istenen hav yüksekliğine göre belirlenmektedir) taşınmakta, tam bir tefeleme gerçekleşmemektedir. 3 nolu atkının atılmasıyla tarak hareketini tamamlamakta ve 3 atkırı birden kumaş çizgisine kadar taşımaktadır. Bu esnada 3 atkı ipliği, gergin halde olan zemin çözgü iplikleri arasından kayarken gevşek hav çözgü iplikleri atkılarla birlikte hareket ederek kumaşın alt ve üst yüzeylerinde ilmek şeklini almaktadır. Ayrıca şekilden de görüldüğü gibi zemin çözgü iplikleri 3. atkıda, hav çözgü iplikleri 2. atkıda konum değiştirmektedir. Böylelikle tefeleme sırasında hav çözgülerinin atkı iplikleri arasından kaymaması, istenen hav yüksekliğinin sürekli olarak sağlanması mümkün olabilmektedir.

Havlu dokuma makinalarında genel olarak her tarak diş boşluğundan iki çözgü geçmekte olup endüstride en yaygın kullanılan tarak numaraları 110/2, 115/2 ve 120/2'dir. Burada ilk rakam 10 cm'deki tarak diş sayısını, ikinci sayı ise bir diş boşluğundan geçen çözgü tel sayısını ifade etmektedir. Ancak havlu dokuma makinalarında kullanılan tarak, diğer dokuma makinalarından farklılık göstermektedir. Bu tarakların en ayırt edici özelliği dişlerin Şekil 3.6'da görüldüğü gibi iki sıra halinde dizilmiş olmasıdır. Bu durum hav ve zemin çözgü ipliklerinin karışmasını önlemekte, ancak kumaş üzerinde oluşan tarak izi daha görünür olmaktadır.



Şekil 3.6. Havlu dokuma makinası tarağı (Yılmaz ve Powell, 2005)

Havlu dokuma işleminde hav yüksekliğinin homojenliğini korumak amacıyla çözgü ipliklerinin mümkün olduğunca daha az engelli bir yol izlemesi gerekmektedir. Bu nedenle hav çözgü ipliklerinde genellikle düz tahar tercih edilmekte, ancak çözgü sıklığının yüksek olması halinde hav ve zemin çözgüleri için atlamalı tahar kullanılabilmektedir.

Havlu kumaşların dokunmasında tasarıma göre belirli bir bölgenin havsız olarak dokunması ile kenar veya bordür oluşturulması da istenebilmektedir. Bordür veya kenar bezi dokunurken tefenin veya kumaş çizgisinin değişken hareketi devre dışı bırakılmakta olup, bu durumda geçiş bölgelerinde normalden yüksek veya kısa havlar oluşabilmektedir.

3.3.4.2.Havlu Dokuma Makinalarındaki Teknolojik Gelişmeler

Havlu dokuma makinaları, hav oluşturma mekanizmaları ve hav çözgü iplik besleme sistemleri ile diğer dokuma makinalarından farklılık göstermektedirler. Genel olarak hav oluşumu amacıyla tarağın periyodik olmayan bir hareket yapması kam mekanizmalarıyla sağlanmaktadır. Ancak bu durumun yarattığı pek çok olumsuzluktan dolayı son yıllarda özellikle bu konu üzerinde çalışmalar yürütülmüştür. Bu amaçla servo motor tahrikli hav oluşturma mekanizmaları geliştirilmiştir. Bu mekanizmalar ile havlu kumaşların desenlendirilmesinde, kalite düzeyinde ve üretim verimliliğinde önemli gelişmeler sağlanmıştır.

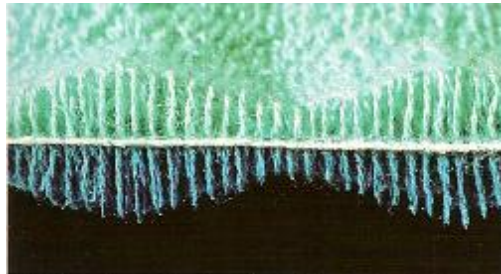
Aynı kumaş üzerinde değişken hav yükseklikleri havlu kumaş tasarımında istenen bir özelliktir. Kam tahrikli hav oluşturma mekanizması kullanılan

makinalarda kumaşın her bir yüzünde iki farklı hav yüksekliği elde edilebilmektedir. Servomotor tahrikli hav oluşturma mekanizmaları ise atkı boyunca (tezgah eni doğrultusunda) iki farklı hav yüksekliğinin çalışılabilmesine olanak sağlamaktadır. Söz konusu durum Şekil 3.7’de açıkça görülebilmektedir.



Şekil 3.7. Farklı hav yüksekliğine sahip havlu yapısı (Vamatex kataloğu, 2005)

Kam tahrikli havlu dokuma makinalarında 3 atkı gruplu havlu dokumadan 4-atkı gruplu dokumaya veya tersine geçiş aynı havlu üzerinde mümkün olamamaktadır. Ancak servo motor tahrikli mekanizmaların kullanılmasıyla aynı havlunun dokunması sırasında farklı atkı grupları arasında geçiş yapılabilmektedir. Örneğin; havlunun düz olarak dokunduğu kısımlarda 3-atkı gruplu dokuma, hav çözgü ipliklerinin yüzey değiştirdiği yerlerde 4-atkı gruplu dokuma, atkı yönünde 2 farklı hav yüksekliği istenen kısımlarda 5, 6 ve 7 atkı gruplu dokuma ve gerektiğinde hav içinde bordür dokuma aynı kumaş yapısında problemsiz olarak elde edilebilmektedir. Böylelikle hav çözgülerinin yüzey değişim noktalarında, bordür veya beze geçiş ve çıkış bölgelerinde oluşacak kısa hav problemi ortadan kaldırılmış olmaktadır. Ayrıca Şekil 3.8’de görülen dalga formu da bu sistem yardımıyla sağlanabilmektedir.



Şekil 3.8. Dalgalı hav formuna sahip havlu kesiti (SmitTextile kataloğu, 2005)

Havlü kumaşların dokunmasında bordür oluşumu havlı bölgeye nazaran çok daha yüksek atkı sıklığında gerçekleştirilmektedir. Bu yüzden dokuma makinası hızı bordürlü bölgeye göre ayarlanmakta olup bu durum havlı kısmın olabileceğinden daha düşük hızda dokunmasına ve bundan dolayı üretim kaybına neden olmaktadır. Bu sorun dokuma makinası ana motorunda hız kontrol ünitesi kullanılmasıyla giderilmektedir. Bu ünite sayesinde bordür ve hav kısımlarının dokunması esnasında makina farklı hızlarda çalıştırılabilmektedir.

Servo motor tahrikli hav oluşturma mekanizması ile havlü kumaş üretiminde elde edilen diğer bir kazanım, kam tahrikli mekanizmalara sahip makinalarda bordür kısmında meydana gelen boncuklanma probleminin ortadan kaldırılmasıdır. Bu hatanın sebebi gerginliği nispeten düşük olan hav çözgülerinin bordür oluşturulurken daha yüksek kıvrım alarak kumaş yüzeyine çıkmalarıdır. Ancak servo motor tahrikli hav oluşturma mekanizmalarında, bordür kısmında iplik gerginliği ve örgü yapısının daha iyi kontrol edilebilmesinden dolayı, kumaş üzerinde bu hatalar görülmemektedir.

Yeni bir kumaş tasarlayıp dokumaya geçildiği zaman gramajın ilk denemede tutturulması mümkün olmamakta, bir miktar kumaş dokunduktan sonra numune alınarak, hav yüksekliği değiştirilmek suretiyle gramaj ayarlanmaktadır. Kam tahrikli hav oluşturma mekanizmasında hav yüksekliğinin ayarlanması hareket iletim sistemindeki kol uzunluklarının ayarlanmasıyla sağlanmakta olup bu işlemle hassas bir ayar yapılamamakta, zaman kaybı ve telef miktarı fazla olmaktadır. Hav oluşturma mekanizmasında servo motor tahriki kullanıldığında ise istenen gramajda bir havlü kumaş için hav uzunluğu makina bilgisayarı tarafından analitik olarak hesaplanabilmekte ve hesaplanan hav yüksekliği hassas bir şekilde elde edilebilmektedir.

Havlü dokuma makinalarında hav oluşum, kumaş çekme ve çözgü salma sistemleri dışında da bazı yenilikler söz konusudur. Havlü dokuma makinası üretiminde öncü markalardan biri kesme aparatını tüm havluların arasına yerleştirmiştir. Buna bağlı olarak tezgah enince tüm havluların iki kenarına ayrı ayrı cımbaz konulmuş olup, bu durum terbiye sonrası boy kesim aşamasını ortadan kaldırmıştır (Vamatex kataloğu, 2005).

Bir başka firmanın makinasında ise “atkı kesici kontrolü” sistemi ile atkı ipliğinin ağızlığı yatırıldıktan sonraki kesim işlemi elektronik olarak kontrol edilmeye ve böylece kesme şartları, ipliğin numarasına ve türüne göre otomatik olarak ayarlanmaya başlanmıştır (SmitTextile kataloğu, 2005).

4. YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI

4.1. Yöneylem Araştırmasına Giriş ve Tarihçe

“Yöneylem araştırması” terimi farklı şekillerde tanımlanmakta olup genel olarak “insan, makina, para ve malzemeden oluşan endüstriyel, ticari, resmi ve savunma sistemlerinin yönetiminde karşılaşılan problemlere modern bilimi kullanarak çözüm bulup, sistemi bulunduğu konumdan daha iyi bir konuma getirmeyi amaçlayan bilim dalı” olarak ifade edilmektedir. Ayrıca yöneylem araştırması (YA) “eldeki olanaklardan en çok yararlanmayı sağlamak için bilimsel tekniklerin problemlere uygulanışı” olarak da tanımlanabilmektedir. Bunun yanı sıra YA’nın bir diğer tanımı ise “bir sistemde ortaya çıkan problemlere, sistemin denetlenebilir bileşenleri cinsinden bilimsel yöntem, teknik ve araçların kullanılması ile en iyi (optimum) çözümün bulunması” şeklindedir.

İlk YA çalışması 1940’da II. Dünya Savaşında İngilizler tarafından askeri alanda gerçekleştirilmiştir. Daha sonra da uzun yıllar bu alanda kullanımına devam edilen YA’nın savaş döneminde yarattığı olumlu etki, diğer alanlarda da kullanılmaya başlanmasını sağlamıştır. Üretimin makinalaşması, organizasyonların büyümesi, insan-makina sistemlerindeki karmaşıklık YA çalışmalarına endüstride de ihtiyaç olduğunu ortaya çıkarmıştır. YA çalışmalarının gelişmesinde anahtar rol oynayan iki faktör olup bunlardan biri bilim adamlarının YA tekniklerini geliştirerek bu teknikleri gerçek hayata uygulamaya başlamaları, diğeri ise bilgisayarlardaki gelişmedir. Bilgisayar donanımı ve yazılımı alanındaki hızlı gelişmeler YA tekniklerinin gerçek hayat problemlerine uygulanışını kolaylaştırmış, elle çözümü çok uzun zaman alan ve hata oranının arttığı problemlerin çözümünü kolaylıkla gerçekleştirilebilir hale getirmiştir.

Türkiye’de ilk YA çalışmaları ise 1960 yılında askeri amaçlı olarak başlatılmış, 1965’te TÜBİTAK’da ilk YA grubu kurulmuş, 1964’ten sonra ise üniversitelerde YA konusu anlatılmaya başlanmıştır (Tinli, 2005).

YA çalışmaları öncelikle askeri alanda kullanılmaya başlanmış olup zamanla yönetim bilimleri, finans, pazarlama, üretim teknolojisi, maliyet muhasebesi,

davranış bilimleri gibi disiplinleri de içine almıştır. Ancak işletmeler dikkate alındığında muhasebe, tasarım, üretim, pazarlama, finans, organizasyon, satın alma ve araştırma-geliştirme departmanları YA çalışmalarının yapıldığı bölümler olarak sayılabilmektedir.

4.2. Yöneylem Araştırması İşleyiş Süreci

Yöneylem araştırması bir işletmenin/örgütün problemini çözmek için kullanıldığında genel olarak aşağıda kısaca özetlenen işlem adımlarının sırasıyla takip edilmesi gerekmektedir.

- 1) Problemin tanımlanması: Problemin tanımlanması, ulaşılmak istenen amaçları ve sistemin kısımlarını belirleme işlemlerini kapsamaktadır.
- 2) Sistemin gözlenmesi: Problem tanımlandıktan sonra probleme etkisi olan parametre değerlerinin tahmininde kullanılmak üzere veri toplanmalıdır.
- 3) Matematiksel modelin kurulması: Bu aşamada, belirlenen problemi en iyi şekilde temsil edecek bir matematiksel modelin oluşturulması gerekmektedir. Bu amaçla problemin değişkenleri saptanmalı ve çerçevesi belirlenmelidir. Bir modelde kontrol edilebilen (karar vericinin kontrolünde olan) ve kontrol edilemeyen (sistemin işleyişini etkileyen fakat değerleri karar verici tarafından belirlenemeyen) değişkenler olmak üzere iki tip değişken bulunmaktadır. Kontrol edilebilen değişkenlere tesisin yeri, kapasitesi, kontrol edilemeyenlere ise birim üretim başına maliyet, talep vb. değişkenler örnek olarak verilebilmektedir. Bu aşamada söz konusu değişkenlerle matematiksel bağıntılar kurularak, problem matematiksel semboller ve ifadelerle sunulmaktadır.
- 4) Modelin çözümü ve doğrulanması: Matematiksel modelin kurulmasından sonra bu modelin çözüm aşamasına geçilir. Elle veya genellikle bilgisayar kullanılarak çözümü gerçekleştirilen modeldeki amacın sağlanıp sağlanmadığı, kısıtların amaç üzerindeki etkileri, değişkenlerin aldıkları değerlerin yorumu çözümünden sonra mutlaka değerlendirilmelidir. Ayrıca parametreler üzerinde yapılacak herhangi bir değişikliğin modeli nasıl etkilediği de araştırılmalıdır.

Modelin çözümünden sonra dikkat edilmesi gereken nokta çözümün güvenilirlik düzeyidir. Modeli kurarken yapılan bir hata çözümün tüm aşamalarına yansıyabilmektedir. Çözüm bulunduktan sonra modelin tamamı değerlendirilerek uygulanabilirliğinin kanıtlanması gerekmektedir. Ayrıca gerçek hayatta sürekli koşullar değiştiğinden bu değişikliklerin modele yansıtılabilmesi başka bir ifadeyle modelin güncelleştirilebilmesi de oldukça önemlidir.

4.3. Matematiksel Modeller

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

Modeller ele alınan konuya ve amaca göre çeşitli şekillerde sınıflandırılabilmekte olup, öncelikle soyut ve fiziki modeller olarak ikiye ayrılmakta ve sonrada soyut modeller matematiksel, dinamik ve statik olarak gruplandırılmaktadır. Bunların her biri de doğrusal ve doğrusal olmayan olmak üzere iki grupta incelenebilmektedir.

Ancak nicel karar vermede ve yöneylem araştırmalarında daha çok matematiksel modeller kullanılmaktadır. Bu modellerin diğer modellere göre sahip oldukları üstünlükler aşağıda özetlenmiştir (Öztürk, 1997):

- 1) Matematiksel modellerde ele alınan problemin değişkenleri arasındaki ilişkiler sayısal olarak ifade edildiklerinden karmaşık durumların bile kolayca anlaşılması ve uygulanması sağlanmaktadır.
- 2) Matematiksel modellerde yanlış yorum olasılığı düşüktür ve açık, esnek ve tutarlı bir yapıya sahiptirler.
- 3) Bu modeller temel değişkenlerin tümünün aynı zamanda ele alınmasına olanak sağlamaktadırlar.
- 4) Matematiksel modeller ile karardan elde edilecek sonuçlar daha net gösterilebilmektedir.

Bir yöneylem araştırması probleminin amacı genel olarak Z değerini en iyi (optimum) yapan X_i değerlerinin bulunmasıdır. “En iyi” kelimesinin anlamı, belli bir ölçüte göre mevcut koşullar içinde en büyük veya en küçük Z değerinin bulunmasıdır.

Matematiksel programlama teknikleri genel olarak doğrusal ve doğrusal olmayan olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Aşağıda söz konusu programlama teknikleri detaylı olarak ele alınmıştır.

4.3.1. Doğrusal Programlama

Doğrusal Programlama (DP), sınırlı kaynakların kullanımını optimum yapmak için geliştirilmiş bir matematiksel modelleme yöntemidir. Problemden kaynaklanan bazı özel durumlar dışında tüm DP modelleri aşağıdaki üç temel elemana sahip olup amaç fonksiyonu ve kısıtların mutlaka doğrusal ifadeler olması gerekmektedir.

1. Doğrusal amaç fonksiyonu
2. Doğrusal kısıtlar
3. Pozitiflik koşulu

Amaç Fonksiyonu: Tüm organizasyonların varmak istediği bir veya birden fazla amaç bulunmakta olup genellikle karın maksimizasyonu veya maliyetin minimizasyonunu amaçlanmaktadır. Karar değişkenlerinin amaç üzerindeki etkilerinin analitik olarak gösterilmesi ile amaç denklemi oluşturulmaktadır. $x_1, x_2, \dots, x_n$ değişkenler ve $c_1, c_2, \dots, c_n$ sabit katsayılar olmak üzere amaç fonksiyonu Z;

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

şeklinde yazılabilmektedir. Problemin amacı, Z’yi maksimum veya minimum yapan “x” değerlerinin bulunmasıdır.

Kısıtlar: Bütün doğrusal fonksiyonlar pozitif sonsuza kadar maksimum, negatif sonsuza kadar minimum değerini alabilmektedirler. Dolayısıyla doğrusal amaç fonksiyonlarının aynı maksimum ve minimuma sahip oldukları söylenebilmektedir. Matematiksel olarak anlamsız olan bu sonuçtan kaçınmak için değişkenler üzerinde bazı kısıtlamalar yapılması gerekmektedir. Organizasyonların kaynaklarının da sonsuz olmadığı düşünülürse bu kısıtlamaların modelde yer alması normal kabul edilmektedir.

Kısıtlayıcılar, kontrol edilebilen veya edilemeyen değişkenlerin ve ilgili parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerinin matematiksel olarak ifade edilmesiyle oluşturulmaktadır. Bütçe kısıtı, talep kısıtı, girdi kısıtı vb. örnek olarak verilebilmektedir. DP problemlerinde kısıtlar, doğrusal eşitsizliklerden meydana gelmekte olup en genel haliyle aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n (\leq, =, \geq) b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n (\leq, =, \geq) b_2 \\ \dots \dots \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n (\leq, =, \geq) b_m \end{aligned}$$

Burada;

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

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

$b_1, b_2, \dots, b_m$: Sabit sayılar

olarak ifade edilmektedir.

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

Pozitiflik koşulu: DP’nin problemlere uygulanmasını kolaylaştırmak amacıyla çözümde karar değişkenlerinin negatif değer alamayacağı koşulu getirilmektedir. Matematiksel olarak problem çözüldüğünde;

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \text{ olmalıdır.}$$

DP problemlerinin formülasyonu değişik şekillerde gösterilebilmekte olup oluşturulan bir modelin genel görünümü aşağıda verilmiştir (Tinli, 2005).

$$Z_{enb/enk} = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad \text{Amaç fonksiyonu}$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j (<=, =, >=) b_i \quad i=1,2,3,\dots,m \quad \text{Kısıtlar}$$

$$x_j \geq 0 \quad \text{Pozitiflik koşulu}$$

Yukarıdaki genel gösterimden anlaşılacağı gibi, doğrusal karar modelinin kısıtları eşitsizliklerin yönleri itibarıyla farklılık gösterebilmektedir. Modelin çözüm işlemine geçebilmek için kısıtların ve karar değişkenlerinin yönlerinin aynı özelliklere dönüştürülmesi gerekmektedir. Buna göre “ $\leq$ ” şeklindeki kısıtı eşitlik haline dönüştürmek amacıyla eşitsizliğin sol tarafına bir değişken eklenmeli, “ $\geq$ ” şeklindeki kısıtı eşitlik haline dönüştürmek için ise kısıtın sol tarafından bir değişken çıkarılmalıdır. Burada eklenen değişken “aylak değişken”, çıkarılan değişken ise “artık değişken” olarak ifade edilmektedir.

Örneğin; modelin i. kısıtı, $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i$ iken $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + x_{n+1} = b_i$ şekline dönüştürüldüğünde ($x_{n+1} \geq 0$ olmak üzere) kısıta eklenen “ x_{n+1} ” değişkeni “aylak veya gevşek (slack) değişken” olarak ifade edilmektedir. Modelin i. kısıtı $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i$ iken $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - x_{n+1} = b_i$ haline dönüştürülmesini sağlayan “ x_{n+1} ” değişkeni ise “artık (surplus) değişken” şeklinde tanımlanmaktadır. Aylak ve artık değişkenler, modelin kısıtlarını eşitlik haline dönüştürmek için kısıt ifadelerine eklendiklerinden amaç fonksiyonuna herhangi bir katkıları yoktur.

Genel olarak bir karar modeli seçeneklerin neler olduğunu belirleyen “kısıt bağıntıları” ve en iyi seçeneği bulmak amacıyla işleme giren “amaç fonksiyonundan” oluşmaktadır. Karar değişkenleri $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ile gösterildiğinde, kısıtların tamamını sağlayan her bir X , karar problemi açısından bir “çözüm”, bunların içinden

amaç fonksiyonunu eniyileyen (en büyük veya en küçük yapan) X ise “en iyi çözüm” olarak ifade edilmektedir.

Doğrusal karar modelleri kısıt ve değişken sayısına bağlı olarak grafik yöntemle, simpleks algoritması kullanılarak veya bilgisayar yazılımları yardımıyla çözülebilmektedir.

Yukarıda verilen yöntemlerden biriyle gerçekleştirilen çözüm gerçekte bağdaşmıyorsa modelin yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir. Çözümün gerçekleşmemesi veya gerçeğe aykırı olması halinde yaygın olarak yapılan hatalar aşağıda özetlenmiştir.

- 1) Modele probleme etkisi olmayan değişkenler alınmış olabilir.
- 2) Problem için önemli bazı değişkenler modele dahil edilmemiş olabilir.
- 3) Bazı karar değişkenleri doğru hesaplanmamış olabilir.
- 4) Modelin yapısı hatalı olabilir.
- 5) Birbiriyle çakışan/çelişen kısıtlar olabilir.

4.3.2. Doğrusal Olmayan Programlama

Gerçek hayatta karşılaşılan problemler için geliştirilen karar modellerinin çoğunun kısıtlarında ve amaç fonksiyonunda tamamen doğrusal ilişkiler gözlemek oldukça zordur. Karar modelinin kısıtlarından enaz birinin veya amaç fonksiyonunun doğrusal olmaması halinde “doğrusal olmayan programlama” tekniğinin uygulanması gerekmektedir.

Doğrusal olmayan matematiksel modeller de bir amaç fonksiyonu ve karar değişkenlerini içeren kısıtlardan oluşmaktadır. Bu tür modellerin çözümü için genel bir algoritma ve etkin bir çözüm geliştirilemediğinden doğrusal olmayan (nonlinear) matematiksel modellerin çözümü için genellikle bilgisayar paket programları kullanılmaktadır.

Doğrusal olmayan modellerin elemanları, modelin oluşturulması, çözümü ve çözümün yorumlanması doğrusal modellerle prensip olarak büyük benzerlik göstermektedir.

Uygulamada doğrusal ve doğrusal olmayan programların yanısıra “tamsayılı programlama” olarak ifade edilen teknik de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modelin çatısı doğrusal modellerle hemen hemen aynı olup söz konusu model aşağıda kısaca özetlemiştir.

Tamsayılı Programlama: Bazı problemlerde karar değişkenlerinin bir kısmının tamsayı değer alma zorunluluğu olabilir. Bu durumda oluşturulan modellerde “tamsayılı programlama” kullanılmaktadır. Kimi problemlerde ise karar modeli geliştirme aşamasında modelin bilinen bir teknikle çözülebilirliğini sağlamak amacıyla, tamsayı değer alması öngörülen ara değişkenler kullanılması gerekmekte ve bu durumda da tamsayılı programlama tercih edilmektedir.

4.3.3. Optimizasyon Modellerinin Çözümü ve Çözümün Yorumlanması

Doğrusal karar modelleri daha öncede belirtildiği gibi kısıt ve değişken sayısına bağlı olarak grafik yöntemle, simpleks algoritması kullanılarak veya bilgisayar yazılımları yardımıyla çözülebilmektedir. Ancak grafik çözüm tekniği en fazla üç değişkenli problemlerin çözümünde kullanılabilmekte olup uygulamada karşılaşılan problemlerin değişken ve kısıt sayıları genellikle daha fazla olduğundan bu yöntem yetersiz kalmakta ve simpleks yöntemine başvurulmaktadır. Ancak kısıt ve değişken sayısı çok fazla olduğu taktirde modellerin bu yöntemle çözümü de pek mümkün olmamakta ve geliştirilen modelin bilgisayar ortamında çözülmesi zorunluluğu doğmaktadır. Bu amaçla 1950’li yıllarda doğrusal karar modellerinin çözümü için simpleks algoritmasına dayalı bilgisayar paket programları geliştirilmiş olup izleyen yıllarda da özellikle büyük ölçekli modellerinin daha kısa zamanda çözülmesini sağlayacak programların oluşturulması amaçlanmıştır. Bunun sonucunda günümüzde kişisel bilgisayarlarda çalıştırılabilen, kullanımı oldukça kolay, çok sayıda kısıt ve karar değişkeninden oluşan her türlü doğrusal karar modelini çözen paket programlar kullanılmaktadır.

Doğrusal olmayan (nonlinear) matematiksel modellerin çözümü genellikle elle mümkün olmadığından yaygın olarak bilgisayar paket programları kullanılmaktadır.

Doğrusal ve/veya doğrusal olmayan optimizasyon modellerinin çözümünde genel olarak LINDO, GINO, MPL ve LINGO yazılımları kullanılmaktadır. Ancak bunlardan LINDO ve LINGO yaygın olarak tercih edildiğinden bu yazılımlar aşağıda tanıtılmıştır.

LINDO: LINDO (Linear Interactive Discrete Optimizer) programı lineer matematiksel modellerin çözümünde kullanılan bir paket programdır. Bu programda formülasyonda yapılacak küçük düzeltme ve değişikliklerle yeni çözümlere ulaşabilmekte ve elde edilen çözümlere duyarlılık analizi (en iyi çözüm değişmeyecek şekilde kısıtların sabitlerinde veya amaç fonksiyonundaki değişkenlerinin katsayılarında ne kadarlık bir değişimin yapılabileceğinin belirlenmesi) uygulanabilmektedir.

Windows tabanlı bir yazılım olan LINDO temel olarak “File, Edit, Solve, Reports, Windows ve Help” menülerinden oluşmaktadır. “Solve” ve “Reports” menüleri dışındaki diğer menüler herhangi bir Windows programı ile benzer özelliklere sahiptir.

“SOLVE” menüsü içindeki tüm komutlar çözümle ilgiliyken, “REPORTS” menüsü ise problemin çözümü sonucu alınacak rapor ile ilgili komutları içermektedir.

Problemin gerekli komutlar kullanılarak yazımından sonra “Solve” menüsü yardımıyla gerçekleştirilen çözüm sonucu elde edilen çıktı raporunda “amaç fonksiyonu” değerinin yanı sıra “Value”, “Reduced cost”, “Slack or Surplus” ve “Dual Prices” başlıklarından oluşan bölümler de yer almaktadır. LINGO yazılımı ile gerçekleştirilen çözümün çıktı raporunda da aynı başlıklar bulunmaktadır. Çalışma kapsamında LINGO kullanıldığından söz konusu bölümler bu yazılımın tanıtıldığı bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

LINGO: LINGO (Language for Interactive General Optimization) yazılımı, GINO ve LINDO’nun geliştirilmiş hali olup doğrusal modellerin yanı sıra doğrusal olmayan ve tamsayılı matematiksel modellerinde çözümüne olanak sağlamaktadır. Genel olarak LINGO lineer ve lineer olmayan optimizasyon teknikleri kullanarak formüle edilen büyük boyuttaki problemlerin çözümü ve çözümün analizinde kullanılan bir araç olarak ifade edilebilmektedir.

LINGO’da problemler açık ve kapalı formda yazılabilmektedir. Model, değişken ve kısıt sayısı açısından küçük boyutluysa açık formda yazılması, büyük boyutluysa kapalı formun kullanılması önerilmektedir. Açık formda, kısıtlar ve amaç fonksiyonu matematiksel bir ifade şeklinde yazılırken kapalı formda özel fonksiyon, komut ve operatörler kullanılmaktadır.

Modelin kapalı formda yazımında 3 ana grubun oluşturulması gerekmektedir. İlk grup, modelde kullanılacak indislerin, değişkenlerin ve parametrelerin tanımlandığı “Sets” bölümüdür. İkinci grup, modelin amaç fonksiyonunun ve kısıtların yazıldığı, değişkenlerin serbest, tamsayı vb. biçimlerde tanımlandığı gruptur. Üçüncü grup ise modelde kullanılacak sayısal değerlerin verildiği “Veri (data)” grubudur. Kapalı formda yazılmış örnek bir model aşağıda verilmiştir (Sipahioğlu ve Saraç, 2002).

Sets:

urun/A, B, C, D, E/:a, c, x;

end sets

Max=@sum (urun:c*x);

@sum(urun:a*x)<=25;

@for (urun: @gin(x));

Data:

a=1, 3, 4, 3, 3;

c=2, 9, 3, 8, 10;

end data

end

Burada “@sum”, “@for” ve “@gin” kapalı formda yazımda kullanılan özel fonksiyonlardandır. “@for” fonksiyonu kısıtların tüm küme elemanlarını kapsayacak şekilde genelleştirilebilmelerini sağlarken, “@sum” fonksiyonu toplam alma işlemini ifade etmekte, “@gin” fonksiyonu ise söz konusu değişkenin tamsayılı değer alacağını göstermektedir. Yukarıda kapalı formda yazılmış modelin açık formda yazılmış hali ise aşağıda verilmiştir (Sipahioğlu ve Saraç, 2002).

```

MAX=2*X(A)+9*X(B)+3*X(C)+8*X(D)+10*X(E);
SUBJECT TO
X(A)+3*X(B)+4*X(C)+3*X(D)+3*X(E)<=25;
END
@GIN X(A);
@GIN X(B);
@GIN X(C);
@GIN X(D);
@GIN X(E);

```

Bir matematiksel modelin açık formda yazımı sırasında uyulması gereken bazı kurallar bulunmakta olup bunlar aşağıda özetlenmiştir.

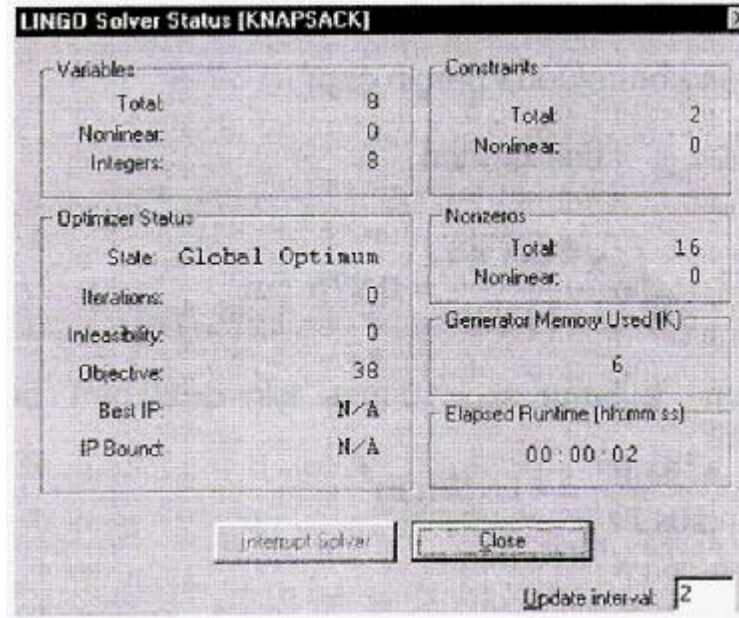
- Genellikle modelin amaç fonksiyonu ilk satırda, kısıtlar diğer satırlarda yazılmaktadır.
- Bütün matematiksel ifadeler mutlaka “;” işareti (noktalı virgül) ile sonlandırılmalıdır. Başka bir ifadeyle kısıtlar birbirinden ve amaç fonksiyonundan bu işaret ile ayrılmalıdır.
- Anlaşılabilirliği sağlamak için her kısıtın yeni bir satıra yazılması önerilmektedir, ancak kısıt sırasının önemi yoktur.
- Değişken isimleri bir harf ile başlamalı ve en çok 32 karakter uzunluğunda olmalıdır.
- Değişken ve parametreler arasında mutlaka çarpı (*) işaretinin olması gerekmektedir ($2*X1+3*X2 \leq 10$ gibi).
- LINGO’da $\leq/\geq$ işaretleri $<=$ / $>=$ veya $</>$ olarak kullanılabilir.
- LINGO, doğrusal karar modellerinde aksi belirtilmedikçe modeldeki bütün değişkenleri sıfırdan büyük veya eşit olarak kabul etmektedir. Doğrusal olmayan modellerde ise değişkenlerin negatif olmama koşulu varsa bunun mutlaka ayrı bir kısıt olarak modele eklenmesi gerekmektedir.
- Model yazımında anlaşılabilirliği artırmak amacıyla satır başına ünlem işareti konarak çeşitli açıklamalar yazılabilmektedir. LINGO “!” işareti ile başlayan

satırları dikkate almamaktadır, ancak açıklama satırları da mutlaka noktalı virgülle sonlandırılmalıdır.

- Bazı durumlarda modeldeki parametrelerin hangi değeri alması gerektiği kesin olarak belirlenemeyebilmektedir. Örneğin “iplik fiyatı” parametresine sahip bir model hazırlandığında ileride iplik fiyatının ne olacağı kestirilemiyorsa “DATA” bölümünde bu değer karşılığı olarak “?” yazılır. Bu durumda model çalıştırıldığında iplik fiyatı için bir değer girilmesini isteyecek ve böylelikle model farklı iplik fiyatları için kolaylıkla çözülebilecektir.

LINGO optimizasyon yazılımı “File, Edit, Lingo, Windows ve Help” olmak üzere 5 ana menüden oluşmaktadır. Bu menüler hakkında bilgi “Materyal ve Metot” bölümünde verilmiştir.

Açık veya kapalı formda yazılmış olan modelin çözümü için model girildikten sonra LINGO menüsü altında yer alan “Solve” komutu kullanılmaktadır. Çözüm sırasında model öncelikle yazım hatalarına karşı denetlenmektedir. Eğer bir yazım hatası bulunursa, hatanın hangi satırda olduğu ve hata türü bilgisini içeren bir pencere açılmaktadır. Hatası olmayan/düzeltilmiş model için çözüm hakkında genel bilgilerin yer aldığı “Solver Status” penceresi oluşmaktadır. Aşağıdaki şekilde örnek bir pencere görülmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. LINGO Solver Status penceresi

Yukarıdaki pencerede yeralan **Variables** bölümünde, modelde yeralan tamsayılı, doğrusal olmayan ve toplam değişken sayıları verilmektedir.

Optimizer Status bölümünde aşağıdaki bilgiler yer almaktadır.

- “State” alanında çözümün türü belirtilmektedir. Çözüm sonucu bu alanda yer alabilecek muhtemel ifadelerin anlamları aşağıda verilmiştir.

Global optimum	: Modelin en iyi çözümünün bulunduğunu ifade eder.
Local optimum	: Modele ait yerel en iyi çözümün elde edildiğini belirtir.
Feasible	: Tüm kısıtları sağlayan ancak en iyi olmayan çözümü tanımlar.
Unbounded	: Sınırsız çözüme ulaşıldığını ifade eder.
Interrupted	: İşlemlerin durdurulduğunu belirtir.
Undetermined	: Henüz bir çözümün üretilmediğini ifade eder.

- “Iterations” alanı gerçekleşen iterasyon sayısını tanımlamaktadır.
- “Infeasibility” alanı kısıtların sağlanamadığı çözümsüz bir modelde, çözümsüzlüğün derecesini göstermektedir.
- “Objective” alanı çözüm sonucu amaç fonksiyonunun aldığı değeri vermektedir.
- “Best IP” alanı tamsayılı modelin en iyi çözümünü göstermektedir.

- “IP Bound” alanı tamsayılı modelin o ana kadar elde edilmiş olan en iyi çözüm değerini ifade etmektedir.

Diğer bölümlerde sırasıyla kısıt sayısı, sıfırdan farklı değişken sayısı, kullanılan hafıza ve çözüm süresi bilgileri bulunmaktadır.

Modelin çözümü sonuçlandıktan sonra “Solver Status” penceresinin yanı sıra çözüm raporunun yer aldığı yeni bir pencere daha oluşturulmaktadır. LINGO; doğrusal, doğrusal olmayan ve tamsayılı modellerin çözümünde, çözüm raporunu standart bir biçimde sunmaktadır. Ancak bütün modeller için yapılan yorumlar aynı olmamaktadır. Aşağıda verilen bilgilerde doğrusal olmayan modeller için varolan farklılıklar metin içerisinde ayrıca belirtilmiştir.

LINGO çözüm raporunda sonuçlar “Values, Reduced Cost, Slack or Surplus ve Dual Price” olmak üzere 4 grupta sınıflandırarak verilmektedir. Şekil 4.2’de örnek bir model ve çözüm raporu verilmiştir

<u>Model:</u>			
Max=2*X1+3*X2+4*X3+X4;			
2*X1+2*X2+X3+X4<=100;			
6*X1+2*X2+3*X3+2*X4>=40;			
X1+X2+X3+X4=80;			
<u>Çözüm:</u>			
Global optimal solution found at step: 2			
Objective value : 320,000			
Variable	Value	Reduced cost	
X1	0,000	2,0000	
X2	0,000	1,0000	
X3	80,00	0,0000	
X4	0,000	3,0000	
Row	Slack or Surplus	Dual Price	
1	320,000	1,0000	
2	20,0000	0,0000	
3	200,000	0,0000	
4	0,00000	4,0000	

Şekil 4.2. Örnek model ve çözüm raporu

Yukarıda verilen çözüm raporunda yer alan başlıkların anlamları aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Value	: Asıl modeldeki değişkenler
Reduced Cost	: İkil modellerin kısıtlarına eklenen aylak/artık değişkenler
Slack or Surplus	: Asıl modelin kısıtlarına eklenen aylak/artık değişkenler
Dual Prices	: İkil modeldeki ikil değişkenler

Çözüm raporuna göre modelin amaç fonksiyonunun optimum değeri 320 olarak belirlenmiş olup bu sonuca 2 adımda ulaşılmıştır.

Sözkonusu çözüm raporundaki **“Variable”** alanında modelde kullanılan sabit ve değişken büyüklükler yer almaktadır. **“Value”** sütunu ise söz konusu büyüklüklerin modelin en iyi çözümünde aldıkları değerleri ifade etmektedir. Buna göre X_3 değişkeninin 80 değerini alması halinde amaç fonksiyonunun değeri 320 olarak gerçekleşmiş ve diğer değişkenler en iyi çözümde “sıfır” değerini almıştır.

Modelin çözüm raporundaki **“Reduced cost”** sütunu modelde bulunan büyüklüklerden, en iyi çözümde yer almayanların (“Value” sütunundaki değeri sıfır olanların) mutlaka çözüme girmesi istenirse, değişkenin alacağı her birimlik değer için, amaç fonksiyonu değerinde ne kadar değişim olacağını göstermektedir. Örneğin X_1 değişkenin “Reduced cost” değeri 2 olup, bu değerden söz konusu değişkenin çözüme 20 değerini alarak girmesi halinde amaç fonksiyonunun $2 \times 20 = 40$ birim azalıp, yeni çözümde $320 - 40 = 280$ olacağı anlaşılmaktadır. Ancak bulunacak bu çözüm en iyi çözüm olmayacaktır.

Çözüm raporundaki **“Row”** sütunu amaç fonksiyonu ve kısıtları ifade etmektedir. 1 nolu sıra amaç fonksiyonunu, diğerleri ise modele yazılış sırasına göre kısıtları tanımlamaktadır.

“Slack or Surplus” değerleri ise kısıtlara eklenen aylak ve artık değişkenlerin en iyi çözümde aldıkları değeri ifade etmektedir. Eğer kısıt eşitlik şeklinde ise artık ve aylak değişken değerleri sıfır olmaktadır. 1. satırdaki değer olan 320, amaç fonksiyonunun çözüm sonucu aldığı değeri temsil etmektedir. Çözüm raporundaki bu değerler söz konusu kısıt ifadesinin sağ tarafındaki sabit değerden çözümde kullanılmayan kısmı ifade etmektedir. Örneğin kurulan modelde 2. satırdaki ifade birinci kısıtın “slack or surplus” değeri olup “20” olarak

belirlenmiştir. Bu kısıtın sağ tarafındaki değerden 20 birimin çözümde kullanılmadığı anlaşılmaktadır. Söz konusu kısıtın sağ tarafındaki değerin (100) tamamının kullanılmıyor olması nedeniyle bu değerin arttırılması veya çözümde yeralan değere kadar azaltılması halinde modelin çözülmesiyle elde edilen optimum değerlerin değişmeyeceği anlaşılmaktadır. Başka bir ifadeyle bu kısıtın sağ tarafına girilen değerin, çözümdeki değer $(100-20=80)$ ile $+\infty$ arasında değişmesi halinde çözüm değişmeyecektir.

Kurulan modelin çözüm raporundaki **“Dual Price”** değerleri ise ikil (dual) değişkenlerin en iyi çözümde aldıkları değerleri göstermektedir. İkili değişkenler, modelin sağ taraf sabitlerinde 1 birimlik artış veya azalış olması halinde amaç fonksiyonu değerinin bu değişiklikten nasıl etkileneceğini vermektedir. Söz konusu sabitlerin artışı maksimizasyon problemlerinde amaç fonksiyonunun azalmasına, minimizasyon problemlerinde ise artmasına neden olmaktadır. 4. sırada verilen dual price değeri olan “4”, bu kısıtın sabit değerinin 1 birimlik artışının amaç fonksiyonu değerini 4 birim azaltacağı şeklinde yorumlanmaktadır. Ancak doğrusal olmayan modellerde bu değişim “yaklaşık” olarak gerçekleşmekte olup kesinlikten söz edilememektedir.

Duyarlılık Analizi: En iyi çözümü bulunan bir karar modelinde, modeldeki parametrelerin, çözümü nasıl etkilediklerini belirlemek amacıyla yapılan analiz “duyarlılık analizi” olarak ifade edilmektedir. Söz konusu analiz genellikle doğrusal modellere uygulanmakta olup, en iyi çözümün bulunmuş olması gerekmektedir. Doğrusal olmayan modellerde ise duyarlılık analizi yapılamamakta veya güvenilir olmayan sonuçlar elde edilmektedir.

Duyarlılık analizi için LINGO menüsü altındaki Options/General Solver/Dual Computations bölümünde “Prices and Ranges” seçeneği seçilmelidir. LINGO iki türlü duyarlılık analizi yapmaktadır:

- Amaç fonksiyonu katkılarına göre duyarlılık analizi
- Kısıtların sağ taraf sabitlerine göre duyarlılık analizi

Yukarıda çözümü verilen örnek modele ait duyarlılık analizi raporu Şekil 4.3’te verilmiştir.

Ranges in which the basis is unchanged:			
Objective Coefficient Ranges			
Variable	Current Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease
X1	2,000000	2,000000	INFINITY
X2	3,000000	1,000000	INFINITY
X3	4,000000	INFINITY	1,000000
X4	1,000000	3,000000	INFINITY
Righthand Side Ranges			
Row	Current RHS	Allowable Increase	Allowable Decrease
2	100,000	INFINITY	20,0000
3	40,0000	200,0000	INFINITY
4	80,0000	20,00000	66,6666

Şekil 4.3. Duyarlılık analizi raporu örneği

Duyarlılık analizi raporundaki ilk kısım, amaç fonksiyonu katkılarına göre duyarlılık analizi sonuçlarıdır. Burada değişkenin amaç fonksiyonundaki katkısı ile bu değer eldeki en iyi çözümü değiştirmeden ne kadar arttırılabileceği veya azaltılabileceği görüntülenmektedir.

Rapora göre örneğin X_1 değişkeninin amaç fonksiyonundaki katkısı 2'dir ve bu değer en çok 2 birim arttırılabilmektedir. Ancak istenirse $-\infty$ 'a kadar herhangi bir değer verilebilmektedir. Yani X_1 'in amaç fonksiyonu katkısı $(-\infty, 4]$ aralığında değiştiği sürece en iyi çözüm takımı (çözüme giren değişken/değişkenler) ve değişkenlerin en iyi çözümde aldıkları değerler değişmemektedir. Ancak amaç fonksiyonunun en iyi değeri (Z), X_1 'in katsayısındaki değişime bağlı olarak değişmektedir. X_3 değişkeni için ise tersi bir durum söz konusudur. Bu değişkenin amaç fonksiyonu katkısı 4 olup, bu değer artı sonsuza kadar arttırılabilmekte ve ancak 1 birim azaltılabilmektedir.

Raporun ikinci kısmı ise kısıtların sağ taraf sabitlerine göre yapılan duyarlılık analizi sonuçlarıdır. Burada ise eldeki en iyi çözüm takımını değiştirmek koşuluyla, her kısıtın sağ taraf sabitlerinin ayrı ayrı ne kadar arttırılabileceği ve azaltılabileceği verilmektedir.

Rapora göre örneğin 1. kısıtın sağ taraf sabiti değeri 100'dür ve bu değer en çok 20 birim azaltılabilirken istenildiği kadar arttırılabilmektedir. Yani sözkonusu sabit değer, $[80, +\infty)$ aralığında değiştiği sürece en iyi çözüm takımı (çözüme giren değişken/değişkenler) değişmemekte, ancak değişikliğe bağlı olarak değişkenlerin en iyi çözümde aldıkları değerler ve en iyi çözüm değeri (amaç fonksiyonu değeri) değişmektedir. Bu aralığın dışında bir değişiklik yapılırsa en iyi çözüm takımı da değişecektir.

5. HAVLULARDA ÜRETİM MALİYETİ HESABI

Çalışmada maliyetin ve/veya performans özelliklerinin en iyilenmesinin amaçlandığı çeşitli optimizasyon modelleri oluşturulması hedeflenmiş olup bunlardan maliyet optimizasyonu modelinde amaç, birim ham havlu kumaş üretim maliyetini minimum yapacak optimum kumaş parametrelerinin belirlenmesi olduğu için amaç fonksiyonu olarak “toplam birim maliyet”ini veren ifadenin kullanılması gerekmektedir. Toplam maliyet; (5.1) nolu eşitlikte görüldüğü gibi “hammadde maliyeti” ile birim üretim başına düşen “genel imalat giderleri”nin toplamından oluşmaktadır.

$$TM = HM + \frac{GİG}{\ddot{U}} \quad (5.1)$$

Burada; TM : Toplam birim m² maliyeti [YTL/m²]

HM : Hammadde maliyeti [YTL/m²]

GİG : Genel imalat giderleri [YTL/h]

Ü : Dokuma makinasında 1 saatte yapılan üretim miktarı [m²/h]

olarak ifade edilmektedir. Yukarıdaki eşitlikte verilmiş olan maliyet unsurları aşağıda ayrı ayrı irdelenmiştir.

5.1. Hammadde Maliyetinin Hesaplanması

Hammadde maliyeti (HM), 1 m² alanındaki havlu kumaşın üretilmesi için gerekli olan ipliklerin toplam maliyeti olup, havlu üretiminde bu ifade hav ve zemin çözgü iplikleri ile atkı ipliklerini kapsamaktadır. Her bir iplik grubunun maliyeti; sözkonusu iplik sisteminden ihtiyaç duyulan ipliğin ağırlığı ile birim fiyatı kullanılarak belirlenmektedir. Gerekli olan iplik miktarını hesaplayabilmek için öncelikle toplam iplik uzunluğunun tespit edilmesi gerekmektedir. Atkı, zemin ve

hav çözgü ipliklerinin maliyetlerinin hesaplanmasında izlenecek yol aşağıda ayrı ayrı verilmiştir.

Zemin çözgü ipliğinin maliyeti:

Birim (1 m²) havlu kumaşın dokunması için gerekli olan zemin çözgü ipliğinin maliyetini belirleyebilmek için öncelikle gerekli olan toplam zemin çözgü uzunluğunun ve buradan hareketle zemin çözgü ağırlığının tespit edilmesi gerekmekte ve daha sonra gerekli iplik ağırlığı ile birim çözgü ipliği fiyatının çarpılmasıyla maliyet hesaplanabilmektedir.

Toplam zemin çözgü uzunluğu, eni “E” cm olan kumaş içerisindeki çözgü tel sayısı ile bir zemin çözgü telinin uzunluğunun çarpılmasıyla belirlenmektedir. Doku içerisinde iplikler kıvrımlı bir yol izlediğinden, bir çözgü telinin uzunluğu belirlenirken krimp yüzdesinin dikkate alınması gerekmektedir. Krimp; kumaştan çıkarılan belirli uzunlukta bir ipliğin, kıvrımı alınarak düzeltilmesi sonrası uzunluğunda meydana gelen artışın % olarak ifadesidir. Bu nedenle dokunması gereken kumaşın uzunluğu L ise, bu üretimde kullanılması gereken ipliğin uzunluğu $L + \left(L \frac{k_z}{100} \right)$ olarak belirlenmektedir. Burada k_z , zemin çözgü ipliğinin krimp yüzdesidir. Örneğin krimp değeri %3 ise, 50 cm kumaş dokunması için gerekli olan zemin çözgü ipliği $50 + \left(50 \times \frac{3}{100} \right) = 51.5$ cm olmaktadır.

Dokunacak kumaşın eni E cm olarak ifade edilirse, bu boyutlarda kumaş dokunması için gerekli olan zemin çözgü ipliği sayısı ise sıklık (1 cm’deki tel sayısı) kullanılarak belirlenebilmektedir. Havlu kumaş üretiminde genellikle kalın iplikler ve düşük sıklık tercih edildiğinden çalışmada, sıklık ölçümünde 2 cm’deki tel sayısı esas alınmıştır. Zemin çözgü sıklığı (tel/2cm) cinsinden S_{cz} olarak ifade edildiğine göre 1 cm’deki zemin çözgü ipliği sayısı $S_{cz}/2$ olmakta, E cm’deki çözgü sayısı ise $(E.S_{cz}/2)$ olarak tespit edilmektedir.

Toplam zemin çözgü ipliği uzunluğunun, toplam iplik sayısı ile bir çözgü ipliğinin uzunluğunun çarpılmasıyla elde edileceği daha önce belirtilmiştir. Buna göre toplam zemin çözgü ipliği uzunluğu aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$ZC_U = E(S_{cz} / 2) \left(L + L \frac{k_z}{100} \right) \quad [\text{cm}] \quad (5.2)$$

ZC_U : Toplam zemin çözgü ipliği uzunluğu [cm]

k_z : Zemin çözgü ipliği krimp miktarı [%]

S_{cz} : Zemin çözgü sıklığı [tel/2cm]

L : Dokunacak kumaş uzunluğu [cm]

E : Dokunacak kumaş eni [cm]

Çalışmada 1 m² kumaşın üretim maliyeti belirlenmeye çalışıldığından yukarıdaki eşitlikteki kumaş eni (E) ve boyu (L) değerleri 100 cm olarak alınacaktır. Ayrıca yukarıda hesaplanan uzunluğun birimi cm olup, metreye dönüştürülerek eşitlik aşağıdaki şekilde yeniden düzenlenmiştir. (5.3) nolu eşitlikte verilen ifade 1 m² kumaştaki toplam zemin çözgü ipliği uzunluğunun “m” cinsinden değeridir.

$$ZC_U = \frac{100(S_{cz} / 2)[100 + 100(k_z / 100)]}{100} = \frac{S_{cz}}{2}(100 + k_z) \quad [\text{m}] \quad (5.3)$$

Birim havlu kumaş üretimi için gerekli olan zemin çözgü ağırlığı belirlenirken ise iplik numarası tanımından yararlanılmaktadır. Metrik numaralandırma sistemine göre (Nm) iplik numarası, ipliğin uzunluğunun ağırlığına oranı ile belirlendiğinden;

$$ZN_{nm} = \frac{ZC_U}{ZC_A} \quad \text{ifadesi kullanılarak zemin çözgü ipliği ağırlığı,}$$

$$ZC_A = \frac{ZC_U}{ZN_{nm}} = \frac{(S_{cz} / 2)(100 + k_z)}{ZN_{nm}} \quad (5.4)$$

ZC_A : Zemin çözgü ipliği ağırlığı [gr]

ZN_{nm} : Zemin çözgü ipliğinin Nm cinsinden numarası [m/gr]

olarak ifade edilmektedir. Bu ifade ise 1 m² kumaş içerisindeki toplam zemin çözgü ipliği ağırlığıdır.

Gerekli olan toplam zemin çözgü ipliği miktarı (gr) ve söz konusu ipliğin birim fiyatı (TL/kg) kullanılarak 1 m² havlu kumaş üretimini gerçekleştirmek için gerekli olan zemin çözgü ipliği maliyeti belirlenmekte olup, bu amaçla aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır. Burada iplik fiyatı 1000'e bölünerek 1 gr ipliğin fiyatı esas alınmıştır.

$$ZC_m = ZC_A \times ZC_F = \frac{(S_{cz} / 2)(100 + k_z)}{ZN_{nm}} \frac{ZC_F}{1000} \quad (5.5)$$

ZC_M : Zemin çözgü ipliğinin birim m² maliyeti [YTL/m²]

ZC_F : Zemin çözgü ipliğinin birim kg fiyatı [YTL/kg]

Hav çözgü ipliği maliyeti:

Yukarıda zemin çözgü ipliği için esas olan işlemlerin hav çözgü ipliği için de uygulanması sonucu, gerekli olan hav çözgü ipliği maliyeti hesabında kullanılabilecek aşağıdaki eşitlikler elde edilmiştir.

Hav çözgü ipliği uzunluğu;

$$HC_U = \frac{100(S_{ch} / 2)(100 + k_h)}{100} = \frac{S_{ch}}{2} (100 + k_h) \quad (5.6)$$

HC_U : Toplam hav çözgü ipliği uzunluğu [m]

k_h : Hav çözgü ipliği krimp miktarı [%]

S_{ch} : Hav çözgü sıklığı [tel/2cm]

şeklinde ifade edilebilmektedir.

Hav çözgü ipliklerinde krimp yüzdesi belirlenirken diğer iplik gruplarına göre farklı bir yol izlenmektedir. Söz konusu çözgüler doku içerisindeilmek formunda bulunduğundan hav yüksekliği olarak ifade edilen büyüklük yardımıyla düzeltilmiş

uzunluklar belirlenmektedir. Hav yüksekliği (HY), daha önce belirtildiği gibi 10 cm'lik kumaş parçasından çıkarılan 10 adet ipliğin düzeltilmiş uzunluklarının toplamının 100'e bölünmesiyle elde edilmektedir. Bu nedenle hav yüksekliğinin 100 ile çarpılması sonucu, 1m (100 cm) kumaş üretimi için gerekli olan 1 adet hav çözgü ipliğinin uzunluğu belirlenmiş olmaktadır. Bu amaçla yukarıdaki eşitlikte $(100+k_h)$ olarak belirtilmiş olan uzunluk değeri yerine (100 HY) büyüklüğü alınarak eşitlik yeniden düzenlenmiş olup 1 m^2 kumaş içerisindeki hav çözgü ipliği uzunluğu,

$$HC_u = \frac{S_{ch}}{2}(100HY)$$

$$HC_u = 50S_{ch}HY \quad (5.7)$$

olarak ifade edilmiştir.

Hav çözgü ipliğinin ağırlığı;

$$HC_A = \frac{HC_u}{HN_{nm}} = \frac{50S_{ch}HY}{HN_{nm}} \quad (5.8)$$

HC_A : Hav çözgü ipliği ağırlığı [gr]

HN_{nm} : Hav çözgü ipliğinin Nm cinsinden numarası [m/gr]

şeklinde tanımlanabilmektedir.

Hav çözgü ipliğinin maliyeti ise;

$$HC_m = HC_A \times HC_F = \frac{50S_{ch}HY}{HN_{nm}} \frac{HC_F}{1000} \quad (5.9)$$

HC_M : Hav çözgü ipliğinin birim m^2 maliyeti [YTL/ m^2]

HC_F : Hav çözgü ipliğinin birim kg fiyatı [YTL/kg]

eşitliği kullanılarak belirlenebilmektedir.

Atkı ipliğinin maliyeti:

Yukarıda belirtilmiş olan işlem basamakları sırasıyla tekrarlanarak birim kumaş üretiminde atkı ipliği maliyetini veren eşitliğe ulaşılmıştır.

Atkı ipliğinin uzunluğu;

$$A_U = (AS / 2)(100 + k_a) \quad (5.10)$$

A_U : Toplam atkı ipliği uzunluğu [m]

k_a : Atkı ipliği krimp miktarı [%]

AS : Atkı sıklığı [atkı/2 cm]

Atkı ipliğinin ağırlığı;

$$A_A = \frac{A_U}{AN_{nm}} = \frac{(AS / 2)(100 + k_a)}{AN_{nm}} \quad (5.11)$$

A_A : Atkı ipliği ağırlığı [gr]

AN_{nm} : Atkı ipliğinin Nm cinsinden numarası [m/gr]

Atkı ipliğinin maliyeti;

$$A_m = A_A \times A_F = \frac{(AS / 2)(100 + k_a)}{AN_{nm}} \frac{A_F}{1000} \quad (5.12)$$

A_M : Atkı ipliğinin birim m² maliyeti [YTL/m²]

A_F : Atkı ipliğinin birim kg fiyatı [YTL/kg]

Birim havlu kumaş üretimi için hammadde maliyeti, (5.5), (5.9) ve (5.12) nolu eşitliklerin toplanmasıyla elde edilmekte olup aşağıda verilmiştir.

$$HM = ZC_m + HC_m + A_m$$

$$HM = \left[\frac{(S_{cz}/2)(100+k_z)}{ZN_{nm}} \frac{ZC_F}{1000} \right] + \left[\frac{50S_{ch}HY}{HN_{nm}} \frac{HC_F}{1000} \right] + \left[\frac{(AS/2)(100+k_a)}{AN_{nm}} \frac{A_F}{1000} \right] \quad (5.13)$$

Ancak havlu kumaş üretiminde hav ve zemin çözgü sıklıklarının genellikle eşit olması nedeniyle ($S_{cz}=S_{ch}$), bu büyüklüklerin yerine toplam çözgü sıklığı değerini içeren $CS/2$ ifadesi kullanılarak (5.14) nolu eşitlik elde edilmiştir.

$$HM = \left[\left[\frac{(CS/2)(100+k_z)}{ZN_{nm}} \frac{ZC_F}{1000} \right] + \left[\frac{50(CS/2)HY}{HN_{nm}} \frac{HC_F}{1000} \right] + \left[\frac{AS}{2}(100+k_a) \frac{A_F}{1000} \right] \right] \quad (5.14)$$

Kurulacak modelde amaç fonksiyonu olarak kullanılacak yukarıdaki eşitliğin oluşturulması esnasında hesap kolaylığı nedeniyle iplik numaraları Nm (metrik) numaralandırma sistemine göre alınmıştır. Ancak işletmelerde ve yazılı kaynakların çoğunda havlu kumaş üretiminde kullanılan ipliklerin numaralandırılmasında yaygın olarak Ne sistemi kullanılması nedeniyle yukarıdaki eşitlikte verilen iplik numaraları Ne'ye dönüştürülmüştür. (5.15) nolu eşitlik hammadde maliyeti ifadesinin son halini göstermektedir. Bu eşitlikte ZN, HN ve AN değerleri Ne numaralandırma sistemine göre ele alınmıştır.

$$HM = \left[\left[\frac{CS}{4}(100+k_z) \frac{ZC_F}{1,693.ZN} \right] + \left[\frac{25.CS.HY}{1,693.HN} \frac{HC_F}{1000} \right] + \left[\frac{AS}{2}(100+k_a) \frac{A_F}{1,693.AN} \right] \right] \quad (5.15)$$

5.2. Genel İmalat Giderlerinin Hesaplanması

Birim havlu kumaş üretiminde toplam maliyet içerisinde, hammadde maliyeti dışında üretim prosesinden kaynaklanan farklı maliyet kalemleri de mevcuttur.

Bunlar toplu olarak “genel imalat giderleri” olarak ifade edilmekte olup, amortisman, işçilik ve enerji maliyetleri alt başlıklarından oluşmaktadır. Bu çalışmada ham kumaş maliyeti esas alındığından sadece dokuma makinasının amortisman maliyeti, dokuma dairesindeki enerji maliyeti ve dokuma dairesinde çalışan işçinin işçilik maliyeti hesaba katılmaktadır. Buna göre genel imalat giderleri;

$$GİG = Amort_m + I_m + E_m \quad (5.16)$$

GİG : Genel imalat giderleri [YTL/h]

Amort_m: Amortisman maliyeti [YTL/h]

I_m : İşçilik maliyeti [YTL/h]

E_m : Enerji maliyeti [YTL/h]

olarak ifade edilmektedir.

Aşağıda her bir maliyet kalemi ayrı ayrı ele alınarak, bunların hesabında kullanılabilecek eşitlikler verilmiştir. Bu eşitliklerde işletmede yılda 300 gün, günde 22,5 saat çalışıldığı varsayılmıştır.

Amortisman maliyeti (Amort_m):

Söz konusu maliyet dokuma tezgahının fiyatının, bu makinanın kendini amorti ettiği süreye (amortisman süresi) oranıyla belirlenmektedir. Ancak amortisman süresi yıl cinsinden ifade edildiği için bunun saate dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle yukarıda verilen, yılda 300 gün, günde 22,5 saat çalışma kabulü hesaba katılarak makinanın amortisman süresi saat cinsinden bulunmuştur.

$$Amort_m = \frac{TF}{Asüre.300.22,5} \quad [YTL/h] \quad (5.17)$$

TF : Dokuma tezgahın fiyatı [YTL]

Asüre : Amortisman süresi [yıl]

İşçilik maliyeti (I_m):

İşçilik maliyeti hesabında ise bir işçinin aylık ücreti esas alınmaktadır. Ancak çalışmada işçinin 1 saate düşen maliyeti kullanılacağından, aylık ücret işçinin ay içerisindeki toplam çalışma saatine (25x7,5) bölünerek saat başına aldığı ücret hesaplanmıştır. Ayrıca dokuma dairelerinde genellikle her işçi birden fazla makinayla ilgilenmekte olup çalışmada üretimin bir makinada gerçekleştirileceği varsayıldığından işçinin aylık ücreti sorumlu olduğu makina sayısına oranlanmaktadır. Buna göre işçilik maliyeti;

$$I_m = \frac{I\ddot{U}/mak}{25.7,5} \quad [\text{YTL/h}] \quad (5.18)$$

$I\ddot{U}$: İşçilik ücreti [YTL/ay]

mak : Bir işçinin sorumlu olduğu makina sayısı

şeklinde ifade edilebilmektedir.

Enerji maliyeti (E_m):

Dokuma işlemi esnasında dokuma makinasının yanı sıra aydınlatma ve ortamı iklimlendirme işlemleri için de enerji harcanmaktadır. Bu nedenle enerji maliyeti; makinanın motor gücü, aydınlatma ve iklimlendirme amaçlı enerji sarfiyatlarının toplamının birim elektrik fiyatı ile çarpılmasıyla elde edilmekte olup söz konusu eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$E_m = [M + A + K] EF \quad [\text{YTL/h}] \quad (5.19)$$

M : Dokuma makinasının motor gücü [kW]

A : Aydınlatma amacıyla harcanan enerji [kW]

K : İklimlendirme amacıyla harcanan enerji [kW]

EF : Elektriğin birim fiyatı [YTL/kWh]

Yukarıda üç alt başlık halinde incelenen maliyet kalemlerinin toplamı genel imalat giderlerini vermekte olup, bu ifadeler kullanılarak (5.16) nolu eşitlik yeniden düzenlendiğinde

$$GİG = Amort_m + \dot{I}_m + E_m$$

$$GİG = \left[\frac{TF}{Asüre.300.22,5} \right] + \left[\frac{\dot{I}\ddot{U}/mak}{25.7,5} \right] + [(M + A + K)EF] \quad (5.20)$$

ifadesi elde edilmektedir.

5.3. Birim Zamanda (1 saat) Yapılan Üretim Miktarı

Dokuma işletmelerinde kumaş üretim miktarının birimi olarak genellikle metre (m) kullanılmaktadır. Ancak tezgah eninin etkisini de ihmal etmemek açısından bu çalışmada üretim miktarı “m²” olarak ifade edilmiş ve birim zamanda (1 saat) gerçekleştirilen üretimin m² cinsinden hesabında (5.21) nolu eşitlik esas alınmıştır.

Burada “n” dokuma tezgahının hızını, başka bir ifadeyle 1 dakikada atılan atkı sayısını belirtmektedir. 1 saatte üretilen kumaşın m² cinsinden miktarı belirlenmeye çalışıldığı için öncelikle 1 saatte atılması gereken atkı adedinin bulunması gerekmekte olup söz konusu değer (60n) adet atkıdır. 1 cm’de AS/2 sayıda atkı bulunduğundan 60n adet atkı atılmasıyla 60n/(AS/2)=120n/AS cm kumaş dokunmaktadır. Bu değer tarak eni (TE) ile çarpılarak m² olarak üretilen kumaş miktarı belirlenmektedir. Ancak kopuşlar, arızalar gibi nedenlerle meydana gelecek duruşlardan kaynaklanacak üretim kaybını da hesaba katmak amacıyla eşitliğe dokuma makinasının verimi (randıman) (V) ilave edilmiştir.

$$\ddot{U} = \frac{120.n.V.TE}{100.AS} \quad (5.21)$$

- $\ddot{U}$: Üretim [m^2/h]
 n : Tezgah hızı (devri) [dev/dak]
 V : Verim [%]
 TE : Tarak eni [m]
 AS : Atkı sıklığı [atkı/2cm]

5.4. Toplam Üretim Maliyeti

Yukarıda toplam birim m^2 maliyet miktarının hesaplanması için gerekli olan maliyet kalemleri ayrı ayrı incelenmiştir. Burada elde edilen (5.15), (5.20) ve (5.21) nolu eşitlikler kullanılarak (5.1) nolu eşitlik yeniden düzenlenmiş ve toplam birim maliyet ifadesi elde edilmiştir.

$$TM = HM + \frac{GI}{\ddot{U}}$$

$$TM = [ZC_m + HC_m + A_m] + \frac{[Amort_m + I_m + E_m]}{\ddot{U}}$$

$$\begin{aligned}
 TM = & \left[\left[\frac{CS}{4} (100 + k_z) \frac{ZC_F}{1,693.ZN} \frac{1}{1000} \right] + \left[\frac{25.CS.HY}{1,693.HN} \frac{HC_F}{1000} \right] + \left[\frac{AS}{2} (100 + k_a) \frac{A_F}{1,693.AN} \frac{1}{1000} \right] \right] + \\
 & + \left[\frac{TF}{Asüre.300.22,5} \right] + \left[\frac{\ddot{U}/mak}{25.7,5} \right] + \left[[M + A + K] EF \right] \\
 & \frac{120.n.V.TE}{100.AS}
 \end{aligned} \tag{5.22}$$

Doktora tezi kapsamında kurulması planlanan, havlu kumaşlarda birim üretim maliyetinin minimizasyonu amaçlı optimizasyon modelinin amaç fonksiyonu olarak (5.22) nolu eşitlikte verilen ifade kullanılacaktır.

6. MATERAL VE METOT

6.1. Materyal

Çalışmanın deneysel kısmında numune olarak kullanılmış olan, farklı fiziksel özelliklere sahip 47 adet havlunun üretimi Gaziantep'te faaliyet gösteren SANKO HAVLU A.Ş. işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Söz konusu havluların üretiminde kullanılan hav-zemin çözgü iplikleri ile atkı ipliklerinin temel fiziksel özellikleri, üretimin gerçekleştirildiği işletmeden temin edilmiştir. Bu veriler değerlendirilerek belirlenen, hav ve zemin çözgüleri ile atkı ipliklerine ait üretim yöntemi, tüylülük, büküm, elastikiyet, mukavemet, uster, kalın yer, ince yer ve neps değerlerinin dağılım aralıkları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Numunelerin iplik özellikleri

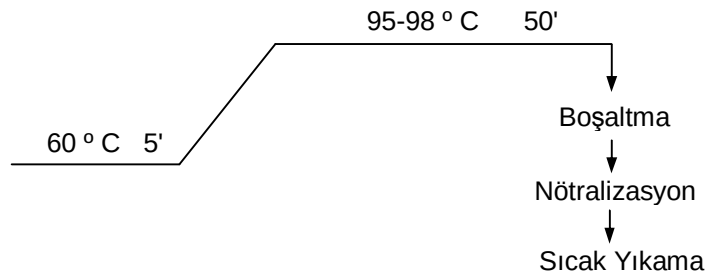
Özellik	Hav çözgü iplikleri	Zemin çözgü iplikleri	Atkı iplikleri
Üretim yöntemi	Ring	Open-End	Open-End
Tüylülük indeksi	5,5-10,1	5,6-9,5	5,1-8,4
Büküm (t/m)	598-669	500-550	619-709
Elastikiyet (%)	5,2-5,8	4,1-5	6-6,9
Mukavemet (RKM)	28-29	13-14	10,7-12,6
Uster (%)	8,3-10,1	7-8	9,7-10,1
Kalın yer (adet/1000m)	0-8	0-4	7-18
İnce yer (adet/1000m)	0	0	0
Neps (adet/1000m)	0-10	0-2	0-7

Çalışma kapsamında oluşturulacak olan eşitliklerin geçerlilik alanının genişletilmesi amacıyla genellikle farklı özelliklerde ipliklerle dokunmuş farklı fiziksel büyüklüklere sahip havlular numune olarak seçilmiştir.

Yukarıda belirtilen özelliklerdeki ipliklerle gerçekleştirilen dokuma işleminde kullanılan dokuma makinasının teknik özellikleri ise aşağıda verilmiştir.

Tezgahın markası	: PIGNONE
Ağızlık açma mekanizması	: Armürlü
Atkı atma mekanizması	: Esnek kancalı
Hav oluşturma sistemi	: Tarak hareketi değişken sistem (3 atkılı)
Tezgah hızı	: 230-270 dev/dak
Tezgah verimi	: ~ % 80
Tarak numarası	: 110 tel/dm (Çözümlerin dizilişi 2 hav, 2 zemin şeklindedir ve her diş boşluğundan 2 çözgü geçmektedir.)
Tezgah eni	: 3,60 m
Çerçeve sayısı	: 14 (8 zemin+2 kenar+4 hav)

Numunelerin tamamı yukarıdaki özelliklere sahip dokuma makinasında, %100 pamuk iplikleriyle üretilmiş ve daha sonra ön terbiye işlemine tabi tutulmuştur. Söz konusu ön terbiye işlemi over-flow makinasında çektirme yöntemine göre uygulanmış ve aynı kazan içerisinde ardarda haşıl sökümü ve kasar işlemleri yapılmış olup renklendirmeye geçilmemiştir. Uygulanan ön terbiye işleminin çalışma grafiği Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Numunelere uygulanan ön terbiye işleminin grafiği

Grafikten de görüldüğü gibi havlular önce 60 ° C’de 5 dakika yıkanmış, ardından 95-98 ° C’de 50 dakika kostikle muamele edildikten sonra nötralizasyon ve yıkama işlemleri gerçekleştirilmiştir. İşlemde kullanılan kimyasallar; kostik, ıslatıcı ve iyon tutucudur. Ön terbiye işlemi sonrası numunelerin üzerindeki fazla su, santrifüj makinası ile kumaş üzerinden uzaklaştırılmış ve ardından Thumpler

makinasında, kumaş üzerinde %5-6 nem kalana kadar kurutulmuştur. Kurutma işlemi Thumpler’de yapıldığı için halat açma işlemine gerek kalmamıştır. Buna göre numunelere uygulanan ön terbiye işleminin proses akış şeması Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. Ön terbiye işlemi proses akış şeması

6.2. Metot

Çalışma kapsamında öncelikle, numune olarak üretilmiş olan havluların fiziksel özellikleri ve seçilmiş performans özellikleri standartlaştırılmış test yöntemleriyle belirlenmiştir. Söz konusu özelliklerin ölçümünde kullanılan test yöntemleri, standart numaralarıyla birlikte Çizelge 6.2’de özetlenmiştir. Çizelgede test yöntemlerinin, TS numaralarının yanı sıra varsa ASTM ve ISO standartlarındaki karşılıkları da verilmiştir. Çalışmada ele alınan fiziksel özellikler; hav yüksekliği (hav-zemin oranı), gramaj, sıklıklar, krimpeler ve iplik numaraları olup performans özellikleri ise yumuşaklık, hidrofilite ve atkı-çözgü kopma mukavemetleridir.

Tekstil mamullerinin sahip olması gereken çok sayıda performans özelliği mevcut olup, havlu kumaşlar kurulama amaçlı olarak kullanıldığı için hidrofilite (su emicilik) ve cilde temas söz konusu olması nedeniyle de yumuşaklık öncelikli olarak değerlendirmeye alınmıştır. Ayrıca çalışmada maliyet optimizasyonunun amaçlanması nedeniyle kopma dayanımı özelliği de önem kazanmaktadır. Bu amaçla performans özelliği olarak bu üç büyüklük esas alınmıştır.

Çizelge 6.2. Test edilen özellikler ve testlerin standart numaraları

Test Edilen Özellikler	Testin TS Numarası (Türk Standardı)	Testin Diğer Ülke Standartlarına Göre Numarası
Hav yüksekliği	TS 629	ASTM* D 5433-00
Gramaj	TS 251	ASTM D 3776-96
Atkı ve çözgü sıklıkları	TS 250	ASTM D 3775-03a
Atkı ve çözgü iplik numaraları	TS 255	ASTM D 1059-01
Örgü raporu	TS 6349	-
Krimp oranı	TS 254	-
Yumuşaklık derecesi	-	ASTM D 4032-94
Hidrofilite derecesi	TS 866	-
Kopma mukavemeti derecesi	TS 253	EN ISO** 13934-1

* ASTM: American Society for Testing and Materials

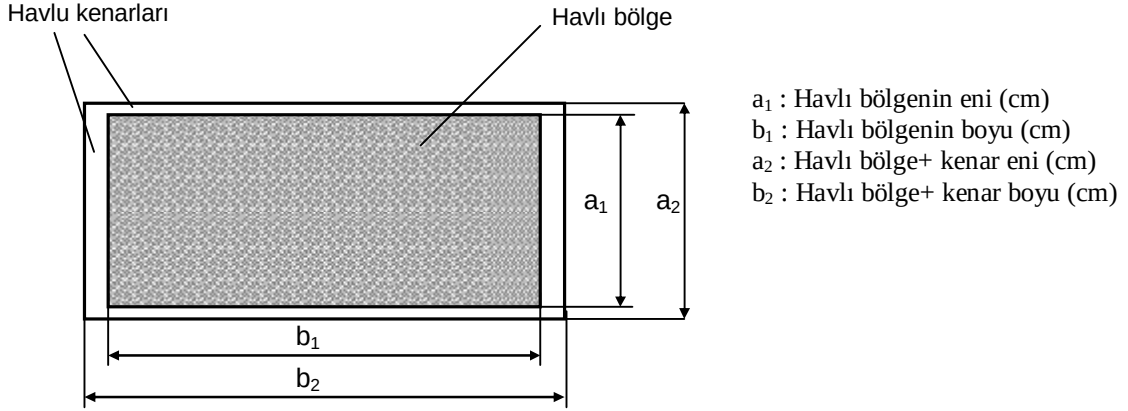
** ISO : International Organization for Standardization

6.2.1. Fiziksel Özelliklerin Tespitinde Kullanılan Test Yöntemleri

Havlu kumaşların sahip olduğu temel fiziksel özelliklerin tespitinde Türk Standartları Enstitüsü tarafından standartlaştırılmış olan çeşitli TS standartları esas alınmış olup söz konusu yöntemler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

a) Havlu Boyutlarının Belirlenmesi

Şekil 6.3'te tipik bir havlunun ana boyutları şematik olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi havlular havlı bölge ile 2 kısa ve 2 uzun kenardan oluşmaktadır. Havlu boyutları belirlenirken bu durum göz önünde bulundurulmuş, numunelerin sadece havlı bölgeleri ile kenarlar dahil en ve boy değerleri ayrı ayrı ölçülmüştür.



Şekil 6.3. Tipik bir havlunun şematik gösterimi

b) Gramajın Belirlenmesi

Numunelerin m^2 ve adet gramajı değerleri TS 251 esas alınarak tespit edilmiştir. Bu amaçla m^2 gramajının belirlenmesinde, havluların havlı bölgesinden 10x10 cm boyutlarında 3 adet numune alınarak ağırlıkları ölçülmüş, daha sonra bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmış ve elde edilen değerden hareketle havlunun 1 m^2 'sinin ağırlığı hesaplanmıştır. Ayrıca havlularda havlı bölge dışında bordür, kenar bezi gibi havsız (bez formunda) bölgelerin de bulunması nedeniyle havlunun tanımlanmasında m^2 gramajının yanı sıra havluların adet gramajlarına da yer verilmiştir. Adet gramajı bir havlunun doğrudan tartılmasıyla elde edilen değerdir.

c) Sıklıkların Belirlenmesi

Tez kapsamında kullanılan 47 adet numunenin atkı ve çözgü doğrultusundaki sıklıkları ise TS 250 esas alınarak tespit edilmiştir. Bu amaçla her iki doğrultuda ayrı ayrı olmak üzere 2 cm uzunluğundaki bölgede yeralan ipliklerin sayısı belirlenmiş, aynı işlem 3 farklı bölgede tekrarlanmış ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. Söz konusu ortalama sıklık değeri genellikle ondalıklı bir sayı olmakta, ancak sıklık birim uzunluktaki tel sayısı olduğu için bu değerlerin tam sayıya çevrilmesi gerekmektedir. Fakat elde edilen değerler, fiziksel özelliklerle regresyon denklemlerinin elde edilmesinde veri olarak kullanılacağından yuvarlatma yapılmadan değerlendirmeye alınmıştır.

d) Hav-Zemin Oranının (Hav Yüksekliği) Belirlenmesi

Çalışma kapsamında kullanılan numunelerin hav-zemin oranı değerleri ise TS 629'a göre belirlenmiştir ve söz konusu birimsiz değerler çalışmada “hav yüksekliği” olarak ifade edilmiştir. Hav yüksekliğinin belirlenmesi amacıyla her havludan 10x5cm büyüklüğünde (10 cm’lik kısım çözgü doğrultusunda olacak şekilde) birer numune alınmış ve bu parçadan çözgü yönünde 10 iplik çekilmiştir. Kumaş içerisinden çıkarılan ipliklerin düzeltilmiş uzunluklarının toplamının 100’e bölünmesiyle elde edilen değer ise o havlunun hav yüksekliği olarak tanımlanmıştır.

e) İplik Numaralarının Belirlenmesi

Havlu kumaşların atkı, zemin ve hav çözgüsü olmak üzere üç iplik sisteminden oluşması nedeniyle her numune için üç farklı numara tespiti yapılmıştır. İplik numaraları TS 255 standardı esas alınarak belirli uzunluğa karşılık gelen ağırlık değeri prensibine göre tespit edilmiştir. Buna göre belirli uzunlukta iplikler kumaştın çıkarılmış, bunların dokuma işleminden kaynaklanan kıvrımları alınarak düzeltilmiş uzunlukları ölçülmüş ve “ortalama düzeltilmiş uzunluk” değeri tespit edilmiştir. Uzunlukları belirlenen ipliklerin tamamı tartılarak “toplam ağırlık” ve bu değeri tartılan iplik sayısına bölünerek “ortalama ağırlık” değerleri belirlenmiştir. Ardından aşağıdaki eşitlikler kullanılarak ipliğin Nm (Numara metrik) cinsinden numarası hesaplanmış ve daha sonra Ne numaralandırma sistemine dönüşüm yapılmıştır.

$$Nm = \frac{\text{Ortalama Uzunluk (m)}}{\text{Ortalama Ağırlık (gr)}}, \quad Ne = \frac{Nm}{1,693} \quad (6.1)$$

f) Krimp Oranlarının Belirlenmesi

Dokunmuş tekstil mamullerinde atkı ve çözgü iplikleri birbirlerinin üzerinden atlama yaptıkları için doku içerisinde dalgalı bir yol izlemektedirler. Bu nedenle, kumaşa dahil olmuş ipliğin iki ucu arasındaki mesafe kumaş içerisinde ve kumaştın çıkarılıp belirli bir gerilmeye tabi tutulduğunda farklılık göstermektedir. Söz konusu farklılık “krimp oranı” olarak ifade edilmekte ve TS 254 nolu standartta belirtilen prensip esas alınarak ölçülebilmektedir.

Buna göre, havlular 3 iplik sistemi ile üretildiğinden hav çözgüsü, zemin çözgüsü ve atkı ipliklerinde olmak üzere her numune için üç farklı krimp değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu standarda göre numuneden belirli uzunlukta bir parça kumaş kesilmekte ve bu kumaştan her yönde enaz 10 adet iplik çıkarılarak bunların tek tek düzeltilmiş (kıvrımı alınmış) uzunlukları belirlenmekte, ortalama değer hesaplanmakta ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla krimp yüzdesi tespit edilmektedir. Ancak uygulanacak gerilmenin, kıvrımları ortadan kaldıracak fakat ipliğin uzamasına yol açmayacak seviyede olmasına dikkat edilmelidir.

$$k = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \quad (6.2)$$

Burada; k : Krimp oranı (%)

L : Düzeltilmiş ortalama iplik uzunluğu (mm)

L₀ : İpliklerin kumaş içerisindeki ortalama uzunluğu (mm)

olarak ifade edilebilmektedir.

Yukarıda belirtilen işlemler hem atkı hem de zemin çözgü iplikleri için uygulanmakta ve her iki doğrultudaki ipliklerin krimpleri belirlenebilmektedir. Ancak hav çözgü iplikleri doku içerisinde havları oluşturduğundan bu iplik sistemi için krimpten bahsetmek uygun olmamaktadır. Üretim esnasında gereken hav çözgü ipliği uzunluğunu belirlemek için bu iplik sisteminde krimp değeri yerine hav yüksekliği büyüklüğü kullanılmaktadır. Bu nedenle havlu kumaşlarda da sadece atkı ve zemin çözgü krimp oranlarının tespit edilmesi yeterli olmaktadır.

g) Örgü Raporunun Belirlenmesi

Havlu kumaşlarda doku türünün belirlenmesinde diğer düz dokunmuş kumaşlara benzer şekilde TS 6349 nolu standart esas alınmaktadır. Söz konusu standarda göre havlu numunesinden kesilen bir parça kumaşın kenarlarından atkı ve çözgü doğrultularında yaklaşık 1 cm saçak oluşacak şekilde iplik çekilmektedir. Daha sonra ilk sıradaki çözgü ipliği, hafifçe kumaştan ayrılacak şekilde saçağı

oluşturan ipliklerin arasında kaydırılır. Daha sonra gözle veya lup adı verilen alet kullanılarak ilk çözgü ipliğinin atkılarının altında ve üstünde olma durumu gözlenerek kareli kağıda işaretleme yapılır. Genellikle çözgü ipliğinin üstte olduğu bağlantı noktaları “x” gibi bir işaretle gösterilmektedir. Aynı işlem sırasıyla diğer çözgüler için de gerçekleştirilir ve iplik hareketlerinde tekrarlar başlayana kadar işleme devam edilir. Bu şekilde örgü raporu elde edilmiş olmaktadır. Raporun atkı ve çözgü yönünde tekrarlayan en küçük birimine “birim örgü raporu” adı verilmektedir.

6.2.2. Performans Özelliklerinin Tespitinde Kullanılan Test Yöntemleri

Havlu kumaşlarda kullanım yeri nedeniyle önemli olan yumuşaklık, hidrofilite ve kopma dayanımı çalışma kapsamında performans özellikleri olarak ele alınmış olup söz konusu büyüklüklerin almış olduğu değerlerin tespitinde kullanılan standart test yöntemleri aşağıda özetlenmiştir.

a) Stiffness Tester Cihazı ile Yumuşaklık Derecesinin Belirlenmesi

Stiffness Tester Cihazı ile ASTM (American Society for Testing and Materials) D 4032-94 Dairesel Eğme Test Metodu’na göre yapılan yumuşaklık tayini; belirli ölçülerdeki numuneyi cihaz üzerindeki bir delikten geçirmek için uygulanması gereken yük miktarının belirlenmesi esasına dayanmaktadır.

Deney Numunesinin Hazırlanması:

Yumuşaklık derecesi tayin edilecek kumaştan 10x20 cm ölçülerinde farklı yerlerden 3 adet numune kesilmektedir. Numunenin alınacağı bölgenin kırışıksız ve kat izi olmayan yerler olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir.

Deney Cihazı ve Deneyin Yapılışı:

Kumaşların yumuşaklık derecesinin tespiti için kullanılan Dijital Pnömatik Stiffness Tester Cihazı Şekil 6.4’te verilmiştir. Bu cihaz, numuneyi değiştirebilen bir yüke maruz bırakan bir deney parmağından, numunenin söz konusu yük etkisi ile geçtiği bir delikten ve uygulanan yükün büyüklüğünün okunduğu bir göstergeden oluşmaktadır. Cihazın çalışma prensibi; 25,4 mm (1 inç) çapındaki bir parmağın

kumaşı 38 mm (1,5 inç) çapındaki deliğe 57 mm (2,25 inç) yükseklikten 1,7 sn’de ve maksimum kuvvetle itmesi esasına dayanmaktadır.

Hazırlanan deney numunesi ikiye katlanarak cihaz üzerindeki deliği örtecek şekilde yerleştirilmektedir. Daha sonra parmak belirli bir yük uygulayarak kumaşın delikten geçmesini sağlamaktadır. Bu işlem esnasında uygulanan yük, deney cihazının göstergesinden “kg” cinsinden okunmakta ve sonuç olarak kaydedilmektedir. Kumaşın delikten geçmesi için uygulanması gereken yükün yüksek çıkması kumaşın yumuşaklık derecesinin düşük olduğu anlamına gelmektedir. Başka bir ifadeyle yük değeri artıkcı kumaşın yumuşaklık derecesinin düştüğü anlaşılmaktadır.



Şekil 6.4. Dijital pnömatik stiffness tester (www.sdlatlas.com, 2006)

b) Batma Testi ile Su Emicilik Derecesinin Belirlenmesi

Tekstil mamullerinin hidrofilite derecesinin tespiti amacıyla TS 866’ya göre, kumaşlardan 7,5 cm x 7,5 cm boyutlarında deney numuneleri kesilmektedir. Bu numuneler çapı en az 15 cm olan ve içinde 10 cm yüksekliğinde 20 ± 2 °C de damıtık su bulunan kabın içindeki suyun üzerine yatay olarak yavaşca yatırılıp kronometre çalıştırılmakta ve deney numunesinin suyu emerek battığı ana kadar geçen süre kaydedilmektedir.

Bu standarda göre havluların hidrofilitesinin tespiti yıkamadan önce ve üçüncü yıkamadan sonra olmak üzere iki aşamada yapılabilmektedir. Her havlu için üç deney yapılip ortalama süre sonuç olarak (mamulün hidrofilite değeri olarak) kaydedilmektedir. TS 629’a göre havlu ve havlu kumaşların suyu emerek batma

süresi en fazla 100 sn olmalıdır. TS 866 nolu standarda göre ise hidrofil bir havlunun en fazla 50 sn’de suya batması gerekmektedir. Buna göre 50 sn’ye kadar olan batma süreleri iyi hidrofilite derecesini, 50-100 sn arası orta ve 100 sn’nin üstü ise kötü hidrofilite derecesini ifade etmektedir.

c) Titan Cihazı ile Kopma Dayanımı Derecesinin Belirlenmesi

Titan Cihazı ile EN ISO 13934-1 (International Organization for Standardization) standardı esas alınarak yapılan kopma dayanımı derecesi tayini testi, belirli ölçülerdeki numuneye cihaz üzerindeki çeneler aracılığıyla kuvvet uygulanması ve numunede kopma meydana getiren kuvvet değerinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır.

Deney Numunesi:

Kopma dayanımı tayini deneyinde kullanılabilecek numune ebatları 5x30 cm olup söz konusu numunelerde uzun kenar boyunca 30 cm den kısa iplik olmamalıdır. Bu nedenle test edilecek kumaştan 6x30 cm ölçülerinde atkı ve çözgü doğrultularında 5’er adet olmak üzere toplam 10 numune kesilmektedir. Numunenin alınacağı bölgenin kırışksız ve kat izi olmayan yerler olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Söz konusu numunelerin kenarlarındaki iplikler çekilerek eni 5 cm ye getirilmekte ve bu işlem sonrası numuneler teste hazır hale gelmektedir.

Deney Cihazı ve Deneyin Yapılışı:

Kumaşların kopma dayanımı derecesinin tespiti için kullanılan Titan Universal Mukavemet Test Cihazı Şekil 6.5’te verilmiştir. Biri sabit diğeri hareketli iki çeneye sahip cihaza, Titan isimli yazılım yüklü bir bilgisayar bağlı durumdadır. Cihazın çalışma prensibi, çeneler arasına yerleştirilen bir numuneye kopana kadar uygulanan yük miktarının belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Numune iplik veya kumaş olabilmektedir. Söz konusu yazılım yardımıyla çeneler arası mesafe, ilk yükleme miktarı, çenelerin hızı vb. değerler değiştirilebilmektedir.



Şekil 6.5. Titan universal mukavemet test cihazı (www.ayganteks.com, 2006)

Gerekli ayarlamalar yapıldıktan ve numune aralarında 20 cm bulunan çenelere yerleştirildikten sonra teste başlanmaktadır. Hareketli çenenin belirlenen hızda hareket etmesiyle numuneye yük uygulanmakta, kopma meydana geldiği anda ise çene durmaktadır. Bu anda okunan değer numunenin kopma mukavemeti değeri olup, bu işlem atkı ve çözgü yönündeki tüm numunelere sırasıyla uygulanmaktadır. Bunun yanı sıra kullanıcının belirlediği eksenler üzerinde gerçek zamanlı grafik gösterimi yapılarak test esnasında elde edilen kuvvet/uzama diyagramı görüntülenebilmektedir. Test cihazından alınan sonuçlar arşivlenebilmekte, grafiksel ve istatistiksel olarak sunulabilmektedir.

TS 629'a göre havlu kumaşlarda atkı kopma mukavemetinin minimum 274 N, çözgü kopma mukavemetinin ise minimum 333 N olması istenmektedir.

6.2.3. Kullanılan İstatistiksel Paket Program

Havlu kumaşların temel fiziksel özelliklerinin birbirleriyle ve çeşitli performans özellikleriyle olan ilişkilerini belirlemek ve sözkonusu performans özelliklerini üretime geçmeden, fiziksel özellikler yardımıyla tahmin etmek için

kullanılacak çeşitli bağıntıları oluşturmak amacıyla, deneysel olarak elde edilen verilere (numune havluların fiziksel ve performans özellikleri) regresyon analizi uygulanması gerekmektedir. Söz konusu analiz SPSS, STATISTICA, MINITAB gibi çeşitli paket programlar kullanılarak yapılabilmektedir.

Menü yönetimli bir program olması nedeniyle rahatlıkla kullanılabilen, bazı yöntemlerin uygulandığı veri setlerine uyumlu olmaması halinde uyarılar veren bir program olması nedeniyle SPSS en yaygın kullanıma sahip programdır. Bu nedenle çalışma kapsamında yapılacak istatistiksel analizlerin tümünde SPSS 10.0 paket programı kullanılmıştır.

Temel ve ileri istatistiksel yöntemleri içeren ve Windows altında çalışan bir veri analiz paketi olan SPSS programının adı “Statistical Package for Social Sciences” sözcüklerinin baş harfinden oluşmaktadır. Söz konusu paket program toplam 10 menüden oluşmakta olup, bunlardan seçilmiş olanların işlevleri ve alt seçenekleri aşağıda kısaca özetlenmiştir (Özdamar, 2002).

1. **“FILE” (Dosya) menüsü:** Bu menü aracılığıyla, yeni dosya açmak, dosya kaydetmek, kayıtlı dosya açmak, belgeyi yazıcıdan dökmek vb. işlevler yerine getirilmektedir.
2. **“EDIT” (Düzen) menüsü:** Bu menü; metin, veri dosyası ve çalışma ekranları üzerinde kesme, kopyalama, yapıştırma, silme, ekleme, arama gibi temel işlemlerin yerine getirilmesini sağlamaktadır.
3. **“VIEW” (Görünüm) menüsü:** SPSS’in kurulu bilgisayar ekranında nasıl görüneceğini, hangi menülerin olacağını, değer etiketlerinin ve değişkenlerin hangi yazı büyüklüklerinde görüntüleneceğini vb. belirleyen seçenekleri içeren bir menüdür.
4. **“DATA” menüsü:** Değişkenlerin belirlenmesi, yeni değişkenlerin elde edilmesi, değişkenlerin başka cebirsel tabanlara dönüştürülmesi gibi veri seti ile ilgili işlemler bu menü aracılığıyla yapılabilmektedir.
5. **“TRANSFORM” menüsü:** Bu menü, veri dosyasındaki değişkenlerin temel özelliklerini değiştirmeksizin yeni değişkenler türetme ve dönüştürme yapmayı sağlayacak seçenekler içermektedir.

6. **“ANALYZE” menüsü:** Bu menü veri analizinde yararlanılan istatistiksel analiz yöntemlerini içermektedir. Bu yöntemler; verilerin belirtici istatistiklerinin hesaplanması, bağımlı ve bağımsız örneklerde iki yada daha fazla ortalama arasındaki farkları test eden yöntemler, varyans analizi, korelasyon analizi, doğrusal, doğrusal olmayan vb. regresyon analizi, kümeleme ve ayırma analizi, faktör analizi, zaman serisi analizi vb. olarak sıralanabilmektedir.
7. **“GRAPHS” menüsü:** Graphs menüsü verilere; çubuk, çizgi, alan, pasta, pareto, kutu, dağılım, histogram vb. grafiklerin uygulanmasını sağlamaktadır.
8. **“UTILITIES” menüsü:** Bu menüde yeralan seçenekler ile oturumlarda çıktıların yazı tipleri istenildiği gibi ayarlanabilmekte, SPSS’de yeralan komutların işlevleri hakkında bilgi alınabilmekte ve çıktı sayfalarında yer alması istenen başlıklar girilebilmektedir.
9. **“WINDOW” menüsü:** Bu menü SPSS ile çalışırken ekrandaki görüntülerin pencerelerde görünüş biçimlerini ayarlamaya yarayan seçenekler sunmaktadır.
10. **“HELP” (Yardım) menüsü:** SPSS ile çalışırken komutlar hakkında ayrıntılı yardım almayı sağlayan seçenekler içeren bir menüdür.

Çalışma kapsamında sözkonusu istatistiksel paket programın “Statistics” ve “Graphs” menüleri yoğun olarak kullanılmıştır. Değişken olarak belirlenmiş olan özelliklerin deneysel olarak tespit edilen verilerinin normal dağılıma uygunluğunun tespiti için “KOLMOGOROV-SMİRNOV”, değişkenlerin almış oldukları ölçüm değerlerinin birbiriyle etkileşiminin başka bir ifadeyle rastgelelik durumunun tespiti için “WOLD-WOLFOWITZ DİZİLER (RUNS)” testleri ve seçilmiş bir bağımlı değişken (yanıt değişkeni) ile açıklayıcı değişkenler (bağımsız değişkenler) arasındaki ilişkiyi veren eşitliklerin oluşturulması amacıyla “REGRESYON ANALİZİ” uygulanmıştır. Ayrıca regresyon analizi ile oluşturulan denklemlerin istatistiksel olarak anlamlılığını test etmek amacıyla F testi (varyans analizi) ve bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişkinin anlamlılığını tek tek test etmek amacıyla da t (student) testi sonuçları da dikkate alınmış ve irdelenmiştir.

Bunun yanı sıra oluşturulan denklemler kullanılarak hesaplanan bağımlı değişken değerleri ile deneysel olarak ölçülen değerler arasındaki farkların anlamlılığını test etmek için de “KORELASYON ANALİZİ” uygulanmıştır.

Ayrıca çalışma kapsamında tüm değişkenlere ait verilerin “HİSTOGRAM GRAFİKLERİ” çizilmiş, regresyon analizi ile oluşturulmuş eşitliklerde her bir açıklayıcı değişken ile yanıt değişkeni arasındaki ilişkinin yönünü ve şeklini (kübik, doğrusal vb.) görmek amacıyla “KİSMİ REGRESYON SERPME GRAFİKLERİ” oluşturulmuş ve irdelenmiştir.

6.2.4. Kullanılan Optimizasyon Yazılımı

Kumaş üretiminde önemli hususlardan biri de mamulün, kullanım yerine ve tüketici isteklerine göre beklenen özelliklere sahip olmasının yanı sıra mümkün olan en düşük maliyetle üretiminin gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla havlularda da performans özelliklerinin istenilen düzeye getirilmesinde maliyetin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışmada birim kumaş (1 m^2 kumaş) üretiminin minimum maliyetle gerçekleştirilmesini sağlayacak bir optimizasyon modeli oluşturulmaya çalışılmış ve bu model “ana/temel model” olarak ifade edilmiştir. Daha sonrada ana model esas alınarak maliyet ve/veya bir veya daha fazla performans özelliğinin en iyilenmesinin amaçlandığı çeşitli optimizasyon modelleri geliştirilmiştir. Söz konusu modellerin çözümü ise LINDO, LINGO, MPL gibi çeşitli yazılımlar kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir.

Çalışmada, optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan en güncel ve gelişmiş program olması, modele girebilecek değişken sayısı limitinin yüksek olması nedeniyle LINGO 8.0 tercih edilmiştir. Söz konusu program doğrusal, doğrusal olmayan, kuadratik, zorlanmış kuadratik ve tamsayılı optimizasyon problemlerinin çözümüne kesin, açık ve hızlı bir şekilde, okunaklı bir formda ulaşmayı sağlamaktadır. LINGO ile modeller kolaylıkla oluşturulmakta, anlaşılakta ve çözülebilmektedir. Ayrıca seçilen uygulamada oluşturulan raporlar, veritabanı veya tablo içindeki çözüm bilgileri çıktı olarak alınabilmektedir. Bunun yanısıra LINGO, programın bütün özellik ve komutlarını tanımlayan online yardım yoluyla ulaşılabilecek bir kullanıcı kılavuzuna sahip olup, serbest deneme versiyonu web sitesinden kolaylıkla indirilebilmekte, örnek modeller incelenebilmekte, sınırlı kapasitede modellerin çözümü gerçekleştirilebilmektedir.

LINGO yazılımı 5 ana menüden oluşmakta olup, bunların içinden seçilmiş olanlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- 1) **“FILE” menüsü:** Bu menü, yeni dosya açma, kaydetme, yazdırma gibi girdi ve çıktılarla ilgili komutları içermektedir.
- 2) **“EDIT” menüsü:** Belge içinde kesme, kopyalama, yapıştırma, arama, seçilen bir parantezin karşılığını bulma, seçilen bir Lingo fonksiyonunun şablonunu yapıştırma vb. işlevler bu menü ile yerine getirilmektedir.
- 3) **“LINGO” menüsü:** LINGO menüsü, modelin çözümü ve çözüm sonuçlarının türetilmesiyle ilgili komutları içermektedir. Söz konusu komutlar kullanılarak, oluşturulan model çözülebilmekte, çözüm raporu text veya grafik formatında oluşturulabilmekte, aktif pencere için duyarlılık analizi yapılabilmekte ve modelin katsayılar matrisi görüntülenebilmektedir.
- 4) **“WINDOW” menüsü**
- 5) **“HELP” menüsü**

7. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

7.1. Numunelerin Fiziksel ve Performans Özelliklerinin Tespiti

Çalışma kapsamında öncelikle seçilmiş bir dokuma makinasında farklı fiziksel özelliklere sahip 47 adet havlu üretimi gerçekleştirilmiş, ardından sözkonusu havlular aynı şartlarda ön terbiye işleminden geçirilmiştir. Numune havluların tamamı buklet formunda üretilmiş olup kullanılan dokuma makinası, makina parametreleri, ön terbiye işlemleri aynı olduğundan ve ön terbiye dışında başka herhangi bir terbiye işlemine (renklendirme, apre gibi) tabi tutulmadıklarından tüm numunelerin üretim şartlarının sabit olduğu söylenebilmektedir.

Ancak fiziksel özellikler farklı olduğundan seçilmiş performans özelliklerinde birtakım farklılıklar olması beklenmektedir. Bu nedenle tüm numune havluların fiziksel özellikleri ve performans özellikleri “Materyal ve Metot” bölümünde detaylı olarak verilmiş olan test yöntemleriyle tespit edilmiştir.

Sözkonusu fiziksel özellikler; boyutlar, adet ve m^2 gramaj, atkı-çözümlü sıklıkları, hav yüksekliği, hav-zemin çözgüsü ve atkı iplik numaraları, örgü türü ve atkı-zemin çözgü krimpeleri olarak sıralanabilmektedir. Bu özelliklerden boyutlar, adet gramajı ve örgü türü numuneleri tanımlamak amacıyla tespit edilmiş olup diğer fiziksel büyüklükler istatistiksel çalışmada veri olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında havluların performans özelliklerinden ise yumuşaklık, hidrofilite ve atkı-çözümlü kopma mukavemetleri ele alınmıştır. TS 629 nolu standartta havlular için bu performans özellikleri değerlendirildiğinden çalışma kapsamında da söz konusunu büyüklükler tercih edilmiştir.

Fiziksel ve performans özelliklerinin tespitinden sonra bu verilere, seçilmiş istatistiksel analizler uygulanarak çeşitli regresyon denklemleri oluşturulmuş ve bu denklemlerin kısıt olarak kullanıldığı optimizasyonu modelleri oluşturulmuştur.

7.2. Yürütülen Deneyisel Çalışma Sonuçları

Numune olarak seçilen havluların fiziksel özelliklerinden gramaj, sıklıklar, iplik numaraları, hav yüksekliği, krimpler ve örgü raporu ile performans özelliklerinden yumuşaklık, hidrofilite ve kopma dayanımı değerleri standart test yöntemleriyle belirlenmiş olup elde edilen sonuçlar aşağıda çizelgeler halinde verilmiştir.

7.2.1. Numunelerin Fiziksel Özellikleri

Üretim işlemi tamamlandıktan sonra havlular Ç.Ü. Tekstil Mühendisliği Bölümü iplik laboratuvarında TS 240 EN 20139'a uygun olarak 20-22 °C sıcaklık ve %63-66 nem değerlerinde 48 saat kondüsyonlanmıştır. Özellikle gramaj değerinin ortam şartlarından önemli düzeyde etkilenmesi nedeniyle fiziksel özellikler test edilmeye başlanmadan önce kondüsyonlama işlemi yapılmıştır.

Kondüsyonlama süresi sonunda aynı ortam şartlarında hassas terazi kullanılarak numunelerin adet gramajları belirlenmiştir. Daha sonra standartlara uygun yöntemlerle tüm numunelerin atkı ve çözgü sıklıkları, hav yüksekliği değerleri, atkı, hav-zemin çözgü iplik numaraları ve atkı-zemin çözgü krimpleri tespit edilmiştir. Söz konusu fiziksel özelliklerin belirlenmesinde kullanılan standart yöntemler “Materyal ve Metot” bölümünde detaylı olarak verilmiştir.

Havlular havlı bölge ile bez formunda dokunmuş 2 kısa ve 2 uzun kenardan oluşmakta olup havlu boyutları belirlenirken bu durum göz önünde bulundurulmuştur. Numunelerin öncelikle havlı bölgelerinin ebatları ölçülmüş, daha sonra kenarlar da dahil edilerek en ve boy değerleri belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 7.1’de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 7.1. Numunelerin boyutları

Numune No	Havlı bölge ($a_1 \times b_1$) (cm x cm)	Kenar+havlı bölge ($a_2 \times b_2$)(cm x cm)	Numune No	Havlı bölge ($a_1 \times b_1$) (cm x cm)	Kenar+havlı bölge ($a_2 \times b_2$)(cm x cm)
1	37,6 x 74,2	38,6 x 76,5	25	44,3 x 92	45,3 x 95
2	30,8 x 31,7	31,5 x 33,7	26	71,7 x 143,7	72,7 x 146,2
3	71 x 132,3	72 x 134,3	27	68,6 x 121,1	69,8 x 123,1
4	83,5 x 164,8	84,6 x 167,5	28	90,3 x 174,6	91,3 x 177,6
5	70 x 123	71,3 x 126	29	44,6 x 96,5	45,5 x 99,3
6	67,7 x 132	68,8 x 135	30	69,6 x 136	70,7 x 138
7	45,5 x 82	46,5 x 84,7	31	95,4 x 55,4	96,3 x 56,6
8	72,5 x 125	73,5 x 127	32	94,5 x 55,8	95,7 x 59
9	71,8 x 122	72,8 x 124	33	73 x 145	74 x 147,5
10	68,2 x 137,2	69,2 x 139,2	34	72,5 x 145,5	73,6 x 147,5
11	62,7 x 115	63,9 x 117	35	70 x 138,6	71 x 140,6
12	71,5 x 127,5	72,5 x 133	36	70 x 138	71,2 x 140
13	67,5 x 126	68,5 x 128	37	72,3 x 140	73,5 x 142
14	55,5 x 86,5	56,7 x 89	38	68,5 x 137,8	69,5 x 141
15	72,2 x 132	73,4 x 134	39	72,3 x 137	73,7 x 139
16	70,5 x 136	71,6 x 138	40	69,5 x 122,5	70,6 x 124,5
17	44 x 100,2	45,2 x 102,2	41	71,5 x 137	72,6 x 139
18	73,3 x 137,5	74,4 x 140	42	71,9 x 129,5	73,2 x 132,5
19	39,6 x 67,3	40,6 x 70,3	43	95 x 177,7	96,2 x 180,7
20	72,5 x 136,3	73,7 x 138	44	89,5 x 170	90,7 x 173
21	71,7 x 144,3	72,9 x 146,5	45	31,4 x 31	32,2 x 34
22	74,2 x 136,8	75,5 x 149,2	46	100,7 x 47	101,8 x 49
23	52,8 x 86,3	54 x 89	47	38 x 70,8	39 x 73,5
24	53 x 85	54,5 x 87,5			

 a_1 : Havlı bölgenin eni (cm) b_1 : Havlı bölgenin boyu (cm) a_2 : Havlı bölge+ kenar eni (cm) b_2 : Havlı bölge+ kenar boyu (cm)

Numunelerin m^2 ve adet gramajı değerleri ise TS 251 esas alınarak tespit edilmiştir. Çizelge 7.2’de tüm havluların alt numunelerine ait ağırlık değerleri, bunların ortalaması ve hesaplanan m^2 gramajı değerleri toplu olarak verilmiştir. Ancak bazı havlulardan (numune no 1, 2, 7 vb.), söz konusu havlu ebatlarının küçük olması nedeniyle 7,5 cm x 7,5 cm büyüklüğünde numuneler alınabilmektedir. Aynı

sebepten dolayı bazı havlulardan da ikişer adet numune kesilebilmiştir. Çizelgede m² gramajının yanı sıra havluların adet gramajlarına da yer verilmiştir. Havlularda havlı bölge dışında bordür, kenar bezi gibi havsız (bez formunda) bölgelerin bulunması nedeniyle bu büyüklüğünde belirlenmesi gerekmektedir.

Çizelge 7.2. Numunelerin **gramaj (m² ve adet gramajlar)** değerleri

Numune No	Alt Numunelerin Ağırlıkları (gr)			Ortalama (gr)	Gramaj Değeri (gr/m ²)	Adet Gramajı (gr)
1*	2,9053	2,8933	-	2,8993	515,43	156,427
2*	2,8904	2,7763	-	2,8333	503,70	59,290
3	6,2460	6,2935	6,0475	6,1956	619,56	605,673
4	5,1836	5,2172	5,1718	5,1908	519,08	760,271
5	6,7076	6,6723	6,5264	6,6354	663,54	614,268
6	5,7167	5,9075	5,7593	5,7945	579,45	560,957
7*	3,3514	3,4996	-	3,4255	608,97	246,572
8	6,7066	6,8104	6,8489	6,7886	678,86	628,811
9	6,8165	6,7319	6,6574	6,7352	673,52	580,707
10	5,2665	5,3433	5,2853	5,2983	529,83	531,502
11	5,6088	5,5247	5,6787	5,6040	560,40	404,369
12	7,9080	7,6042	7,6264	7,7128	771,28	706,030
13	6,7127	6,6917	6,6477	6,6840	668,40	574,263
14*	3,8400	3,9530	3,8950	3,8960	692,62	355,262
15	6,9010	6,8563	7,0187	6,9253	692,53	678,628
16	7,2428	7,2602	7,2387	7,2472	724,72	711,218
17*	2,8520	2,7917	2,8471	2,8302	503,15	245,811
18	6,9912	6,9470	6,8388	6,9256	692,56	735,235
19*	2,1680	2,2100	-	2,1890	389,15	127,627
20	6,0170	5,9801	6,0454	6,0141	601,41	612,710
21	6,4596	6,0770	6,1869	6,2411	624,11	665,476
22	6,5252	6,6985	6,5724	6,5987	659,87	705,700
23*	5,5101	5,3687	-	5,4394	967,00	466,305
24*	5,5651	5,4595	-	5,5123	979,96	467,458
25*	3,0937	2,9355	3,0610	3,0300	538,67	236,651
26	6,7220	6,5843	6,6310	6,6457	664,57	714,975

*: Bu havlulardan alınan alt numuneler 7,5 cm x 7,5 cm ebatlarındadır.

Çizelge 7.2.'nin devamı

Numune No	Alt Numunelerin Ağırlıkları (gr)			Ortalama (gr)	Gramaj Değeri (gr/m ²)	Adet Gramajı (gr)
27	4,7097	4,6582	4,6650	4,6776	467,76	419,425
28	5,4895	5,2558	5,3532	5,3661	536,61	868,724
29*	2,2468	2,2448	2,2896	2,2604	401,84	199,247
30	3,9060	3,9874	3,8593	3,9175	391,75	401,646
31	7,6216	7,8269	-	7,7242	772,42	419,718
32	7,5505	7,6828	-	7,6166	761,66	418,571
33	6,3710	6,2834	6,2904	6,3149	631,49	692,864
34	6,2557	6,2106	6,3253	6,2638	626,38	692,641
35	5,0120	5,0712	4,9268	5,0033	500,33	505,630
36	5,2910	5,2075	5,3058	5,2681	526,81	526,753
37	6,2861	6,3020	6,3573	6,3151	631,51	661,173
38	4,7552	4,7052	4,6894	4,7166	471,66	490,613
39	6,0775	5,9603	5,9748	6,0042	600,42	600,692
40	6,4001	6,2245	6,3568	6,3271	632,71	577,610
41	5,6728	5,6052	5,4649	5,5809	558,09	573,363
42	6,0169	6,0317	5,9065	5,9850	598,50	599,500
43	5,7683	5,8892	5,9403	5,8659	586,59	ölçülemedi
44	5,1850	5,1820	5,2954	5,2208	522,08	ölçülemedi
45*	2,7753	2,7717	-	2,7735	493,06	67,341
46	5,6306	5,7411	-	5,6858	568,58	286,311
47*	3,0797	3,1109	-	3,0953	550,27	160,678

*: Bu havlulardan alınan alt numuneler 7,5 cm x 7,5 cm ebatlarındadır.

Tez kapsamında kullanılan 47 adet numunenin atkı ve çözgü doğrultusundaki sıklıkları ise TS 250 esas alınarak tespit edilmiştir. Buna göre elde edilen atkı ve çözgü sıklığı değerleri Çizelge 7.3'te toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 7.3. Numunelerin atkı ve çözgü sıklıkları

Numune No	Atkı Sıklıkları (tel/2cm)				Çözgü Sıklıkları (tel/2cm)			
	Ölçülen değerler			Ortalama	Ölçülen değerler			Ortalama
1	37	37	37	37	54	52	53	53
2	35	34	35	34,6	53	52	53	52,6
3	39	39	40	39,3	56	57	56	56,3
4	38	37	38	37,6	53	52	52	52,3
5	39	39	39	39	57	56	58	57
6	40	40	40	40	54	53	55	54
7	41	40	41	40,6	51	52	51	51,3
8	34	35	34	34,3	55	55	55	55
9	36	36	37	36,3	62	60	61	61
10	37	37	37	37	53	53	53	53
11	36	36	35	35,6	52	51	50	51
12	41	40	41	40,6	65	63	64	64
13	38	37	36	37	55	56	54	55
14	43	43	44	43,3	51	50	51	50,6
15	41	40	40	40,3	64	63	63	63,3
16	43	42	42	42,3	58	56	57	57
17	41	41	40	40,6	52	52	52	52
18	37	37	37	37	54	55	55	54,6
19	35	35	34	34,6	55	54	54	54,3
20	36	36	38	36,6	56	55	56	55,6
21	37	38	37	37,3	56	55	55	55,3
22	40	41	41	40,6	63	63	62	62,6
23	37	38	38	37,6	48	49	50	49
24	37	38	38	37,6	48	49	50	49
25	35	36	35	35,3	55	54	54	54,3
26	37	38	37	37,3	56	55	55	55,3
27	38	38	38	38	54	53	55	54
28	36	35	35	35,3	52	51	52	51,6
29	37	36	36	36,3	53	52	52	52,3
30	37	37	37	37	52	53	52	52,3
31	42	43	43	42,6	50	49	49	49,3

Çizelge 7.3'ün devamı

Numune No	Atkı Sıklıkları (tel/2cm)				Çözümlü Sıklıkları (tel/2cm)			
	Ölçülen değerler			Ortalama	Ölçülen değerler			Ortalama
32	40	41	41	40,6	49	49	49	49
33	38	37	38	37,6	55	55	55	55
34	38	37	37	37,3	57	56	57	56,6
35	35	35	35	35	53	51	53	52,3
36	35	35	35	35	53	52	53	52,6
37	38	37	38	37,6	55	54	54	54,3
38	35	35	36	35,3	54	52	54	53,3
39	38	38	38	38	56	56	55	55,6
40	42	42	41	41,6	53	52	54	53
41	34	34	35	34,3	53	54	54	53,6
42	37	37	38	37,3	56	54	57	55,6
43	39	39	39	39	54	55	54	54,3
44	39	39	39	39	52	50	52	51,3
45	34	33	33	33,3	56	56	55	55,6
46	39	41	40	40	52	53	51	52
47	35	34	34	34,3	51	52	51	51,3

Çalışma kapsamında kullanılan numunelerin hav-zemin oranı değerleri ise TS 629'a göre belirlenmiş ve söz konusu birimsiz değerler tez çalışmasında “hav yüksekliği” olarak ifade edilmiştir. Çizelge 7.4'te tüm numunelerin hav yüksekliği değerleri verilmiştir.

Çizelge 7.4. Numunelerin **hav yüksekliği** değerleri

Numune No	Hav Yüksekliği [-]	Numune No	Hav Yüksekliği [-]
1	7,6	25	8,9
2	8,1	26	9,6
3	9,3	27	6,7
4	8,2	28	8,3
5	10,5	29	5,6
6	9,2	30	5,2
7	10,5	31	6,7
8	6,2	32	6,7
9	9,7	33	9,8
10	8,6	34	9,8
11	5,3	35	7,9
12	11,0	36	8,3
13	8,6	37	9,5
14	5,9	38	7,0
15	9,0	39	8,8
16	10,7	40	9,7
17	7,9	41	8,5
18	9,9	42	8,6
19	5,3	43	5,7
20	8,7	44	6,2
21	9,3	45	7,3
22	9,1	46	6,1
23	6,7	47	9,2
24	6,7		

Havlu kumaşların atkı, zemin ve hav çözgüsü olmak üzere üç iplik sisteminden oluşması nedeniyle her numune için üç farklı numara tespiti yapılmıştır. İplik numaraları TS 255 standardı esas alınarak belirli uzunluğa karşılık gelen ağırlık değeri prensibine göre tespit edilmiştir. Çizelge 7.5 hav çözgü ipliklerinin, Çizelge 7.6 zemin çözgü ipliklerinin ve Çizelge 7.7 ise atkı ipliklerinin Ne numaralandırma sistemine göre numaralarını vermektedir. Çizelgede her numuneden

çıkarılmış ipliklerin düzeltilmiş uzunlukları ve toplam ağırlıkları da görülebilmektedir. Söz konusu çizelgelerde numune numarasının yanındaki “ç” harfi ipliğin çift kat olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca çift kat iplikleri oluşturan tek katlı her bir ipliğin numarası da çizelgeden görülebilmektedir (21,8/2 gibi).

Çizelge 7.5. Numunelerin hav çözgü iplik numaraları

Numune No	1	2	3	4	5	6	7	8ç
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	77,2	80,5	92,6	83,8	103,1	92,5	104,7	62,4
	76,2	81,7	90,2	82,8	107,0	91,2	103,9	61,2
	75,8	80,5	92,8	81,5	102,4	91,2	104,7	61,1
	78,0	80,5	93,4	81,2	106,4	90,0	104,3	61,2
	76,0	80,6	94,0	80,4	106,8	92,4	106,0	61,3
	75,9	80,9	93,7	80,0	103,5	94,0	107,2	61,3
	76,8	81,5	93,4	81,3	102,7	91,7	104,5	62,2
	75,1	80,6	93,5	81,7	103,0	91,6	105,0	61,0
	75,3	80,0	94,5	82,1	106,7	92,0	102,5	62,3
	75,2	80,2	94,3	83,1	104,2	90,5	105,0	61,1
Ortalama Uzunluk(cm)	76,15	80,7	93,24	81,79	104,58	91,71	104,78	61,51
Toplam Ağırlık (gr)	0,2441	0,2714	0,3019	0,2670	0,3373	0,3114	0,3524	0,3334
İplik No (Ne)	18,4	17,6	18,2	18,1	18,3	17,4	17,6	10,9 (21,8/2)

Çizelge 7.5.’in devamı

Numune No	9	10	11ç	12	13	14ç	15	16
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	97,6	86,3	53,5	109,8	78,7	59,0	92,5	105,8
	98,8	85,6	53,3	111,9	80,5	59,6	91,0	108,0
	97,7	87,7	53,0	111,0	80,6	59,8	89,3	107,8
	98,5	86,7	53,5	109,3	81,4	60,6	89,9	109,0
	95,5	85,3	52,9	111,3	81,5	60,3	90,0	106,9
	96,3	86,0	53,7	108,8	81,7	60,7	89,9	107,8
	97,0	87,5	53,5	111,0	80,2	59,5	91,6	106,3
	95,6	86,3	53,5	108,9	81,2	60,7	90,8	107,0
	96,3	86,2	53,0	109,5	81,0	59,7	89,4	107,5
	96,3	86,5	53,6	109,0	78,9	59,5	89,4	108,5
Ortalama Uzunluk(cm)	96,96	86,41	53,35	110,05	80,57	59,94	90,38	107,46
Toplam Ağırlık (gr)	0,3213	0,2924	0,3018	0,3568	0,3432	0,3954	0,3068	0,3646
İplik No (Ne)	17,8	17,5	10,4 (20,8/2)	18,2	13,9	9,0 (18/2)	17,4	17,4

Çizelge 7.5.'in devamı

Numune No	17	18	19	20	21ç	22	23ç	24ç
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	80,5	99,4	54,0	87,5	91,6	92,3	66,5	67,3
	78,8	100,0	53,0	87,5	93,2	92,8	66,7	66,3
	78,8	99,7	52,5	86,4	93,1	91,4	66,4	66,3
	81,0	99,3	52,6	87,8	92,9	89,0	66,5	66,7
	78,8	98,4	52,0	87,2	93,1	91,3	66,8	66,5
	79,0	100,8	52,7	86,5	92,5	91,6	66,5	67,0
	78,5	98,8	52,5	87,0	93,5	91,8	66,5	67,0
	80,3	98,4	53,1	86,0	91,5	89,0	66,5	67,0
	79,6	98,6	52,6	86,3	90,6	91,4	66,5	67,4
	79,4	100,4	52,4	86,5	93,0	91,2	66,4	67,0
Ortalama Uzunluk(cm)	79,47	99,38	52,74	86,87	92,5	91,18	66,53	66,85
Toplam Ağırlık (gr)	0,2596	0,3413	0,1831	0,3037	0,3547	0,3076	0,5878	0,5889
İplik No (Ne)	18,1	17,2	17,0	16,9	15,4 (30,8/2)	17,5	6,7 (13,4/2)	6,7 (13,4/2)

Çizelge 7.5.'in devamı

Numune No	25	26ç	27	28	29	30	31ç	32ç
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	89,6	96,2	66,6	82,1	55,9	51,5	67,5	66,5
	89,6	97,0	65,0	82,0	57,0	52,0	67,5	66,7
	88,0	96,9	66,7	84,3	55,8	52,1	67,9	66,7
	90,8	95,5	67,1	84,1	55,9	51,4	68,0	66,7
	90,0	96,8	67,7	84,5	56,0	51,4	67,2	66,7
	89,0	95,5	67,8	84,0	55,8	51,6	67,4	66,7
	88,7	95,0	68,0	84,5	55,5	51,9	67,7	66,4
	89,0	95,0	68,3	81,8	55,8	51,4	66,9	66,7
	88,5	93,9	68,6	81,7	55,6	51,8	67,1	66,4
	89,4	96,2	67,0	81,7	56,0	52,0	67,2	66,6
Ortalama Uzunluk(cm)	89,26	95,8	67,28	83,07	55,93	51,71	67,44	66,61
Toplam Ağırlık (gr)	0,3018	0,3476	0,2255	0,2817	0,1954	0,1714	0,4535	0,4500
İplik No (Ne)	17,5	16,3 (32,6/2)	17,6	17,4	16,9	17,8	8,8 (17,6/2)	8,7 (17,4/2)

Çizelge 7.5.'in devamı

Numune No	33	34	35	36	37	38	39	40
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	98,5	96,5	79,4	83,2	95,1	70,0	88,5	96,0
	96,5	99,5	79,5	82,2	95,2	70,2	88,7	95,2
	98,2	97,5	79,3	83,6	95,6	69,5	88,5	97,8
	100,3	98,5	78,9	83,0	95,5	69,9	88,3	96,9
	98,0	96,0	79,0	83,2	95,0	70,3	88,5	94,2
	97,6	98,2	80,4	83,1	96,5	70,0	87,7	99,0
	99,0	97,2	78,9	82,5	96,8	69,6	88,2	98,3
	98,8	96,3	79,6	82,1	94,6	69,9	87,7	99,7
	94,0	97,3	79,6	83,1	94,6	69,6	88,5	99,6
	97,5	98,5	78,8	82,6	95,0	69,9	87,9	97,7
Ortalama Uzunluk(cm)	97,84	97,55	79,34	82,86	95,39	69,89	88,25	97,44
Toplam Ağırlık (gr)	0,3231	0,3213	0,2684	0,2806	0,3268	0,2358	0,2900	0,3115
İplik No (Ne)	17,9	17,9	17,5	17,4	17,2	17,5	18,0	18,5

Çizelge 7.5.'in devamı

Numune No	41	42	43ç	44	45	46ç	47
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	86,0	86,5	56,0	62,0	73,2	61,0	93,0
	85,7	85,0	59,3	61,7	73,5	61,0	91,2
	85,6	86,2	59,6	62,2	73,1	60,7	93,5
	85,1	86,0	59,7	61,5	72,9	61,5	92,0
	86,8	86,6	54,8	61,9	72,3	61,5	92,8
	84,5	84,9	55,5	62,0	72,3	61,9	93,3
	84,6	86,3	56,4	61,7	72,2	60,5	92,3
	86,0	85,6	59,3	62,5	72,6	61,0	92,5
	84,4	85,6	54,6	61,5	72,5	61,2	91,8
	84,2	85,1	59,5	61,5	72,4	61,2	92,4
Ortalama Uzunluk (cm)	85,29	85,78	57,47	61,85	72,7	61,15	92,48
Toplam Ağırlık (gr)	0,2895	0,2948	0,3168	0,2761	0,2167	0,3382	0,3132
İplik No (Ne)	17,4	17,2	10,7 (21,4/2)	13,2	19,8	10,7 (21,4/2)	17,4

Çizelge 7.6. Numunelerin zemin çözgü iplik numaraları

Numune No	1ç	2ç	3ç	4ç	5ç	6ç	7ç	8ç
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	24,1	23,0	23,5	24,0	21,6	20,5	21,3	20,9
	24,3	23,0	23,6	24,3	21,5	20,4	21,3	21,0
	24,1	23,1	23,7	24,1	21,7	20,6	21,2	21,0
	24,0	22,9	23,4	24,0	21,5	20,6	21,2	20,8
	24,0	23,1	23,6	24,0	21,6	20,5	21,1	21,1
	24,0	22,9	23,5	24,0	21,6	20,7	21,3	21,1
	23,9	23,0	23,7	23,9	21,4	20,6	21,1	20,9
	23,9	22,8	23,6	24,3	21,8	20,4	21,2	21,0
	24,3	23,2	23,4	24,1	21,6	20,4	21,2	20,9
	24,1	23,1	23,7	24,0	21,7	20,6	21,2	20,9
Ortalama Uzunluk(cm)	24,07	23,05	23,6	24,02	21,6	20,56	21,2	20,9
Toplam Ağırlık (gr)	0,1331	0,128	0,131	0,1338	0,157	0,150	0,155	0,152
İplik No (Ne)	10,7 (21,4/2)	10,6 (21,2/2)	10,6 (21,2/2)	10,6 (21,2/2)	8,1 (16,2/2)	8,1 (16,2/2)	8,1 (16,2/2)	8,1 (16,2/2)

Çizelge 7.6.'nın devamı

Numune No	9ç	10ç	11ç	12ç	13ç	14ç	15ç	16ç
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	23,8	23,0	22,6	23,6	23,1	23,0	23,1	23,6
	24,2	22,9	22,8	23,5	23,2	22,8	23,0	23,7
	23,6	23,0	22,7	23,8	23,4	22,8	23,3	23,6
	24,0	22,9	22,4	23,7	23,1	22,8	23,2	23,6
	23,6	22,9	22,6	23,8	23,2	22,6	23,2	23,7
	23,9	22,9	22,6	23,7	23,1	22,6	23,1	23,7
	23,9	23,0	22,5	23,8	23,1	22,7	23,1	23,7
	23,7	23,1	22,5	23,6	23,0	22,5	23,1	23,8
	23,6	23,0	22,6	23,7	22,9	22,6	23,2	23,6
	23,5	22,8	22,6	23,6	23,0	22,6	23,0	23,6
Ortalama Uzunluk(cm)	23,78	22,95	22,59	23,68	23,11	22,7	23,13	23,66
Toplam Ağırlık (gr)	0,1315	0,1294	0,1243	0,1354	0,1330	0,1278	0,1286	0,1334
İplik No (Ne)	10,7 (21,4/2)	10,4 (20,8/2)	10,7 (21,4/2)	10,3 (20,6/2)	10,3 (20,6/2)	10,5 (21/2)	10,6 (21,2/2)	10,5 (21/2)

Çizelge 7.6.'nın devamı

Numune No	17ç	18ç	19ç	20ç	21ç	22ç	23ç	24ç
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	21,8	22,9	21,5	22,2	22,1	23,4	22,7	22,7
	21,7	22,9	21,5	22,1	22,3	23,5	22,4	22,8
	21,7	22,8	21,5	22,2	22,3	23,5	22,5	22,6
	21,7	22,8	21,5	22,3	22,3	23,4	22,7	22,6
	21,7	22,8	21,4	22,3	22,3	23,5	22,4	22,7
	21,7	22,8	21,5	22,4	22,2	23,2	22,7	22,4
	21,7	22,7	21,6	22,3	22,1	23,4	22,4	22,6
	21,8	22,7	21,5	22,3	22,3	23,3	22,5	22,6
	21,8	22,7	21,5	22,2	22,1	23,3	22,5	22,7
	21,8	22,9	21,5	22,4	22,2	23,4	22,4	22,6
Ortalama Uzunluk(cm)	21,74	22,8	21,5	22,27	22,22	23,39	22,52	22,63
Toplam Ağırlık (gr)	0,1213	0,1593	0,1166	0,1215	0,1206	0,1267	0,157 3	0,1587
İplik No (Ne)	10,6 (21,2/2)	8,5 (17/2)	10,9 (21,8/2)	10,8 (21,6/2)	10,9 (21,8/2)	10,9 (21,8/2)	8,5 (17/2)	8,4 (16,8/2)

Çizelge 7.6.'nın devamı

Numune No	25ç	26	27ç	28ç	29ç	30ç	31ç	32ç
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	21,7	22,2	21,6	22,5	21,8	21,9	22,8	22,6
	21,9	22,3	21,5	22,6	21,9	21,8	22,8	22,7
	21,8	22,3	21,5	22,5	21,9	22,0	22,8	22,8
	21,9	22,3	21,5	22,5	22,0	21,8	22,6	22,6
	21,7	22,2	21,7	22,5	21,8	21,9	22,7	22,6
	21,9	22,3	21,6	22,5	21,9	22,0	22,9	22,7
	22,0	22,1	21,6	22,5	22,0	21,8	22,8	22,6
	21,8	22,3	21,8	22,6	22,0	21,8	22,8	22,6
	21,7	22,3	21,6	22,5	22,0	21,9	22,8	22,5
	21,9	22,4	21,5	22,7	21,9	21,9	22,9	22,7
Ortalama Uzunluk(cm)	21,83	22,27	21,59	22,54	21,92	21,88	22,79	22,64
Toplam Ağırlık (gr)	0,1225	0,1195	0,1207	0,1236	0,1213	0,1189	0,1251	0,1254
İplik No (Ne)	10,5 (21/2)	11,0 (22/2)	10,6 (21,2/2)	10,8 (21,6/2)	10,7 (21,4/2)	10,9 (21,8/2)	10,8 (21,6/2)	10,7 (21,4/2)

Çizelge 7.6.'nın devamı

Numune No	33ç	34ç	35ç	36ç	37ç	38ç	39ç	40ç
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	22,8	22,8	21,9	21,8	22,4	21,9	22,7	22,2
	22,8	22,8	22,0	21,7	22,1	22,0	22,9	22,2
	22,7	23,0	21,8	21,7	22,3	21,9	22,7	22,3
	22,7	23,0	21,9	21,8	22,2	21,9	22,7	22,2
	22,7	22,9	21,9	21,7	22,2	21,8	22,9	22,2
	22,7	22,9	21,9	21,8	22,2	21,9	22,7	22,1
	22,8	22,9	22,0	21,6	22,1	21,9	22,9	22,3
	22,8	22,9	22,0	21,8	22,4	21,9	22,9	22,2
	22,9	23,0	21,9	21,9	22,2	21,8	22,8	22,2
	22,8	22,8	21,9	21,6	22,1	21,8	22,8	22,1
Ortalama Uzunluk(cm)	22,77	22,9	21,92	21,74	22,22	21,88	22,8	22,2
Toplam Ağırlık (gr)	0,1264	0,1253	0,1180	0,1155	0,1215	0,1204	0,1269	0,1195
İplik No (Ne)	10,6 (21,2/2)	10,8 (21,6/2)	11,0 (22/2)	11,1 (22,2/2)	10,8 (21,6/2)	10,7 (21,4/2)	10,6 (21,2/2)	11,0 (22/2)

Çizelge 7.6.'nın devamı

Numune No	41ç	42ç	43ç	44ç	45ç	46ç	47ç
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	22,2	22,3	21,8	21,4	22,1	22,7	21,7
	22,2	22,4	21,8	21,4	22,0	22,6	21,8
	22,3	22,3	21,9	21,5	21,9	22,7	21,8
	22,2	22,2	21,8	21,4	22,1	22,7	22,1
	22,2	22,4	21,8	21,4	22,1	22,7	22,0
	22,5	22,3	21,9	21,4	22,1	22,7	21,9
	22,3	22,5	21,8	21,5	22,2	22,7	21,8
	22,5	22,3	21,9	21,5	22,1	22,6	21,9
	22,3	22,2	21,9	21,5	22,3	22,8	21,9
	22,4	22,4	21,9	21,4	22,0	22,7	21,9
Ortalama Uzunluk(cm)	22,31	22,33	21,85	21,44	22,09	22,69	21,88
Toplam Ağırlık (gr)	0,1222	0,1184	0,1201	0,1180	0,1191	0,1293	0,1186
İplik No (Ne)	10,8 (21,6/2)	11,1 (22,2/2)	10,7 (21,4/2)	10,7 (21,4/2)	11,0 (22/2)	10,4 (20,8/2)	10,9 (21,8/2)

Çizelge 7.7. Numunelerin atkı iplik numaraları

Numune No	1	2	3	4	5	6	7	8
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	23,7	23,7	23,8	23,7	22,8	22,5	22,6	23,0
	23,9	23,6	23,9	23,7	22,7	22,5	22,6	22,8
	24,0	23,6	23,8	23,8	22,8	22,7	22,7	22,6
	24,1	23,7	23,7	23,8	22,6	22,7	22,7	22,9
	23,9	23,5	23,7	23,8	22,6	22,6	22,5	23,1
	23,7	23,5	23,9	23,6	22,7	22,6	22,5	22,8
	23,6	23,6	23,8	23,5	22,8	22,6	22,6	22,7
	23,7	23,6	23,7	23,6	22,8	22,8	22,6	22,9
	24,1	23,7	23,7	23,7	22,5	22,8	22,8	22,7
	23,8	23,6	23,7	23,8	22,7	22,6	22,5	22,9
Ortalama Uzunluk(cm)	23,85	23,6	23,75	23,7	22,7	22,6	22,53	22,8
Toplam Ağırlık (gr)	0,1138	0,1136	0,1140	0,1142	0,1110	0,1103	0,1100	0,1110
İplik No (Ne)	12,3	12,3	12,3	12,3	12,1	12,1	12,1	12,1

Çizelge 7.7.'nin devamı

Numune No	9	10	11	12	13	14	15	16
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	24,0	23,9	23,5	24,0	23,6	23,4	24,1	24,1
	24,0	23,8	23,3	23,8	23,3	23,5	23,9	23,6
	24,1	23,5	23,2	24,0	23,4	23,0	24,1	24,0
	24,3	23,7	23,7	24,4	23,3	23,3	24,2	23,9
	24,1	23,7	23,6	24,3	23,4	23,5	23,9	24,0
	24,4	23,7	23,1	24,2	23,5	23,4	24,3	23,9
	24,1	23,7	23,8	24,3	23,4	23,3	23,9	23,9
	24,3	24,1	23,3	24,5	23,6	23,4	24,2	24,1
	24,4	24,3	23,4	23,9	23,4	23,4	24,1	24,1
	24,1	24,1	23,7	24,0	23,4	23,0	23,8	24,0
Ortalama Uzunluk(cm)	24,18	23,85	23,46	24,14	23,43	23,32	24,05	23,96
Toplam Ağırlık (gr)	0,0826	0,0828	0,0842	0,0977	0,0838	0,1124	0,1108	0,1178
İplik No (Ne)	17,29	17,01	16,45	14,59	16,5	12,2	12,8	12,01

Çizelge 7.7.'nin devamı

Numune No	17	18	19	20	21	22	23	24
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	23,5	23,7	23,8	24,6	23,8	23,4	23,0	23,0
	23,5	23,5	24,0	24,4	23,7	23,3	23,3	23,0
	23,5	23,9	23,8	24,2	23,6	23,3	23,3	22,7
	23,5	23,7	23,8	24,5	23,7	23,2	22,8	23,0
	23,5	23,8	23,7	24,2	23,7	23,2	23,5	23,0
	23,5	23,7	24,0	24,3	23,6	23,3	23,3	22,7
	23,6	23,7	24,1	24,4	23,7	22,9	22,9	22,7
	23,7	23,6	23,7	24,3	23,7	23,0	23,0	22,5
	23,6	24,0	23,9	24,5	23,5	23,3	22,9	22,5
	23,4	23,6	23,8	24,2	23,5	23,0	22,8	22,9
Ortalama Uzunluk(cm)	23,53	23,72	23,86	24,36	23,65	23,19	23,08	22,8
Toplam Ağırlık (gr)	0,0764	0,1326	0,0820	0,1111	0,0818	0,1072	0,1276	0,1252
İplik No (Ne)	18,2	10,6	17,2	13,0	17,1	12,8	10,7	10,8

Çizelge 7.7.'nin devamı

Numune No	25	26	27	28	29	30	31	32
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	24,5	23,6	24,3	23,4	24,2	24,2	22,3	22,6
	24,4	23,7	24,3	23,5	24,3	24,2	22,6	22,6
	24,1	23,5	24,3	23,3	24,1	24,1	22,7	22,5
	24,5	23,5	24,2	23,5	24,4	24,0	22,5	22,3
	24,5	23,9	24,2	23,5	24,1	24,1	22,2	22,4
	24,4	23,7	24,0	23,7	24,2	24,1	22,3	22,7
	24,5	23,6	24,3	23,5	24,1	23,9	22,4	22,4
	24,2	23,7	23,9	23,5	24,0	24,0	22,6	22,5
	24,3	23,5	24,1	23,6	24,3	24,1	22,5	22,7
	24,5	23,6	24,1	23,7	24,1	23,8	22,5	22,3
Ortalama Uzunluk(cm)	24,39	23,63	24,17	23,52	24,18	24,05	22,46	22,5
Toplam Ağırlık (gr)	0,0833	0,1071	0,0821	0,1106	0,0830	0,0847	0,1015	0,1044
İplik No (Ne)	17,3	13,0	17,4	12,6	17,2	16,8	13,1	12,7

Çizelge 7.7.'nin devamı

Numune No	33	34	35	36	37	38	39	40
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	23,8	23,7	24,0	23,6	23,3	24,8	23,7	23,8
	23,5	23,5	24,0	23,8	23,1	24,7	23,6	24,2
	23,5	23,5	24,0	24,0	23,0	24,6	23,6	24,0
	23,8	23,7	24,0	23,6	23,0	24,5	23,1	23,8
	23,6	23,8	24,1	23,5	22,9	24,7	23,2	23,9
	23,7	23,5	23,9	23,5	22,9	24,8	23,5	23,8
	23,4	23,6	23,8	23,6	22,9	24,9	23,5	24,0
	23,5	23,6	23,8	23,8	22,9	24,5	23,6	23,8
	23,6	23,7	24,0	23,6	22,7	24,6	23,4	23,9
	23,4	23,4	23,8	23,5	22,8	24,5	23,6	23,8
Ortalama Uzunluk(cm)	23,58	23,6	23,94	23,65	22,95	24,66	23,48	23,9
Toplam Ağırlık (gr)	0,1074	0,1072	0,0833	0,0825	0,1049	0,0845	0,1080	0,1319
İplik No (Ne)	13,0	13,0	17,0	16,9	12,9	17,2	12,8	10,7

Çizelge 7.7.'nin devamı

Numune No	41	42	43	44	45	46	47
Ölçülen Düzeltilmiş Uzunluk Değerleri	23,7	23,0	23,7	23,6	23,6	22,1	24,0
	23,5	23,1	23,4	23,6	23,8	21,9	23,9
	23,6	23,3	23,4	23,6	23,8	22,2	23,9
	23,6	23,2	23,2	23,7	23,3	22,1	23,8
	23,5	23,3	23,5	23,7	23,5	22,1	24,0
	23,4	23,0	23,3	23,5	23,5	22,0	23,7
	23,3	23,0	23,5	23,6	23,4	21,8	24,0
	23,3	23,1	23,3	23,8	23,5	21,9	23,6
	23,2	23,0	23,3	23,8	23,4	22,0	23,6
	23,1	23,3	23,3	23,7	23,8	21,9	23,5
Ortalama Uzunluk(cm)	23,42	23,13	23,39	23,66	23,56	22	23,8
Toplam Ağırlık (gr)	0,0818	0,1077	0,0831	0,0815	0,0841	0,0770	0,0802
İplik No (Ne)	16,9	12,7	16,6	17,1	16,5	16,9	17,5

Belirli miktarda üretim gerçekleştirmek için gerekli olan iplik miktarının belirlenmesinde etkili bir parametre olması nedeniyle numuneleri oluşturan ipliklerin krimp oranları da TS 254 nolu standarda göre tespit edilmiştir. Bu amaçla, iplik numaraların hesaplanmasında kullanılan düzeltilmiş uzunluk değerlerinden

yararlanılmıştır. Kumaştan ilk uzunlukları (kumaş içerisindeki uzunluk) 20 cm olacak şekilde 10 ar adet atkı ve zemin çözgü ipliği çıkarılmış, bunların düzeltilmiş uzunlukları ölçülmüş ve bu değerler kullanılarak krimp yüzdeleri hesaplanmıştır. Buna göre tüm numunelerin atkı ve zemin çözgü iplik sistemleri için belirlenen krimp oranları Çizelge 7.8’de verilmiştir.

Çizelge 7.8. Numunelerin krimp değerleri

Numune No	Atkı krimp (%)	Zemin çözgü krimp (%)	Numune No	Atkı krimp (%)	Zemin çözgü krimp (%)
1	19,25	20,35	25	21,95	9,15
2	20,25	11,80	26	18,15	11,35
3	19,35	16,25	27	20,85	7,95
4	21,20	12,00	28	17,60	12,70
5	20,90	13,30	29	20,90	9,60
6	20,80	10,55	30	20,25	9,40
7	12,85	14,60	31	12,30	13,95
8	14,00	19,80	32	12,50	13,20
9	20,90	18,90	33	17,90	13,85
10	19,25	14,75	34	18,00	14,50
11	17,30	12,95	35	19,70	9,60
12	20,70	18,40	36	18,25	8,70
13	17,15	15,55	37	14,75	11,10
14	16,60	13,50	38	23,30	9,40
15	20,25	15,65	39	17,40	14,00
16	19,80	18,30	40	19,50	11,00
17	17,65	8,70	41	17,10	11,55
18	18,60	14,00	42	15,65	11,65
19	19,30	7,50	43	16,95	9,25
20	21,80	11,35	44	18,30	7,20
21	18,25	11,10	45	17,80	10,45
22	15,95	16,95	46	10,00	13,45
23	15,40	12,60	47	19,00	9,40
24	14,00	13,15			

Son olarak numunelerin doku türü TS 6349 esas alınarak belirlenmiştir. Dokunmuş kumaşlarda atkı ve çözgü ipliklerinin kesişme düzenlerine göre bezayağı, dimi ve saten gibi temel örgüler ile bunlardan geliştirilmiş türev örgüler kullanılmaktadır. Pamuklu düz dokunmuş kumaşlarda en yaygın kullanılan örgü bezayağı olup, havlularda ise bezayağından türetilmiş rips örgü en çok tercih edilen doku türüdür.

Çalışmada numune olarak kullanılan havluların doku türünün Rips R2/1 olduğu belirlenmiş olup bu örgü türünde çözgü iplikleri atkı iplikleriyle Şekil 7.1’de görüldüğü gibi, 2 üstte, 1 altta şeklinde bağlantı yapmaktadırlar. Numune havlularda çözgülerin tırağa dizilişi 2 hav, 2 zemin şeklinde olmuştur ve hem zemin hem hav çözgüleri R2/1 bağlantısı yapmıştır. Yapılan doku analizi sonucu tespit edilen örgü raporu aşağıda verilmiştir. Burada her sütun bir çözgü ipliğini, her satır ise bir atkı ipliğini ifade etmekte olup çözgünün atkı ipliğinin üstünde olduğu bağlantı noktaları “x” ile gösterilmiştir. Numunelerin birim raporu da, örgü raporu üzerinde koyu renk çizgilerle belirtilmiştir.

	x	x			x	x	
x			x	x			x
x		x		x		x	
	x	x			x	x	
x			x	x			x
x		x		x		x	
Z	Z	H	H				

Z: Zemin çözgü ipliği
H: Hav çözgü ipliği

Şekil 7.1. Numune havluların örgü raporu

Çizelge 7.9’da ise tüm numunelerin ön terbiye işlemi sonrası ölçülen fiziksel özelliklerinin belirlenen değerleri toplu olarak görülmektedir. Yukarıdaki çizelgelerde verilen fiziksel büyüklüklere ek olarak bu çizelgede havluların bordür ve bez bölgelerindeki atkı sıklığı değerleri de verilmiştir. Çizelge 7.10’da ise havlu numuneleri için tespit edilen fiziksel özellik değerlerinin dağılma aralıkları, başka bir ifadeyle maksimum ve minimum değerleri özetlenmiştir.

Çizelge 7.9. Numunelerin fiziksel özelliklerinin ön terbiye işlemi sonrası ölçülen değerlerinin toplu gösterimi

Fiziksel Özellikler	Numune No									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gramaj (gr/adet)	156,427	59,29	605,673	760,271	614,268	560,957	246,572	628,811	580,707	531,502
Gramaj (gr/m²)	515,43	503,70	619,56	519,08	663,54	579,45	608,97	678,86	673,52	529,83
Ebatlar (cmxcm) (Hav-hav)	37,6x74,2	30,8x31,7	71x132,3	83,5x164,8	70 x 123	67,7x132	45,5 x 82	72,5x125	71,8x122	68,2x137,2
Ebatlar (cmxcm) (Tüm boy)	38,6x76,5	31,5x33,7	72x134,3	84,6x167,5	71,3x126	68,8x135	46,5x84,7	73,5x127	72,8x124	69,2x139,2
Atkı Sıklığı (tel/2cm)	37	34,6	39,3	37,6	39	40	40,6	34,3	36,3	37
Bordür(tel/2cm)	112	112	112	119	160	120	138	-	88	-
Bez (tel/2cm)	-	-	-	-	88	126	92	88	88	-
Çözümlü Sıklığı (tel/2cm)	53	52,6	56,3	52,3	57	54	51,3	55	61	53
Atkı İplik Numarası (Ne)	12,3	12,3	12,3	12,3	12,1	12,1	12,1	12,1	17,29	17,01
Zemin Çözümlü İplik Num. (Ne)	10,7 (21,4/2)	10,6 (21,2/2)	10,6 (21,2/2)	10,6 (21,2/2)	8,1 (16,2/2)	8,1 (16,2/2)	8,1 (16,2/2)	8,1 (16,2/2)	10,7 (21,4/2)	10,4 (20,8/2)
Hav Çözümlü İplik Num. (Ne)	18,4	17,6	18,2	18,1	18,3	17,4	17,6	(21,8/2)	17,8	17,5
Hav Yüksekliği	7,6	8,1	9,3	8,2	10,5	9,2	10,5	6,2	9,7	8,6
Atkı Krimpi (%)	19,25	20,25	19,35	21,20	20,90	20,80	12,85	14,00	20,90	19,25
Zemin Çözümlü Krimpi (%)	20,35	11,80	16,25	12,00	13,30	10,55	14,60	19,80	18,90	14,75

Çizelge 7.9.'un devamı

Fiziksel Özellikler	Numune No									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Gramaj (gr/adet)	404,369	706,030	574,263	355,262	678,628	711,218	245,811	735,235	127,627	612,710
Gramaj (gr/m ²)	560,40	771,28	668,40	692,62	692,53	724,72	503,15	692,56	389,15	601,41
Ebatlar (cmxcm) (Hav-hav)	62,7x115	71,5x127,5	67,5x126	55,5x86,5	72,2x132	70,5x136	44x100,2	73,3x137,5	39,6x67,3	72,5x136,3
Ebatlar (cmxcm) (Tüm boy)	63,9x117	72,5x133	68,5x128	56,7x89	73,4x134	71,6x138	45,2x102,2	74,4x140	40,6x70,3	73,7x138
Atkı Sıklığı (tel/2cm)	35,6	40,6	37	43,3	40,3	42,3	40,6	37	34,6	36,6
Bordür(tel/2cm)	56	96	120	-	144	112	-	114	108	132
Bez (tel/2cm)	96	112	-	-	140	-	-	96	-	-
Çözümlü Sıklığı (tel/2cm)	51	64	55	50,6	63,3	57	52	54,6	54,3	55,6
Atkı İplik Numarası (Ne)	16,45	14,59	16,5	12,2	12,8	12,01	18,2	10,6	17,2	13,0
Zemin Ç. İplik Num. (Ne)	10,7 (21,4/2)	10,3 (20,6/2)	10,3 (20,6/2)	10,5 (21/2)	10,6 (21,2/2)	10,5 (21/2)	10,6 (21,2/2)	8,5 (17/2)	10,9 (21,8/2)	10,8 (21,6/2)
Hav Çözümlü İplik Num. (Ne)	(20,8/2)	18,2	13,9	(18/2)	17,4	17,4	18,1	17,2	17,0	16,9
Hav Yüksekliği	5,3	11,0	8,6	5,9	9,0	10,7	7,9	9,9	5,3	8,7
Atkı Krimpi (%)	17,30	20,70	17,15	16,60	20,25	19,80	17,65	18,60	19,30	21,80
Zemin Çözümlü Krimpi (%)	12,95	18,40	15,55	13,50	15,65	18,30	8,70	14,00	7,50	11,35

Çizelge 7.9.'un devamı

Fiziksel Özellikler	Numune No								
	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Gramaj (gr/adet)	665,476	705,700	466,305	467,458	236,651	714,975	419,425	868,724	199,247
Gramaj (gr/m ²)	624,11	659,87	967,00	979,96	538,67	664,57	467,76	536,61	401,84
Ebatlar (cmxcm) (Hav-hav)	71,7x144,3	74,2x136,8	52,8x86,3	53x85	44,3x92	71,7x143,7	68,6x121,1	90,3x174,6	44,6x96,5
Ebatlar (cmxcm) (Tüm boy)	72,9x146,5	75,5x149,2	54 x 89	54,5x87,5	45,3 x 95	72,7x146,2	69,8x123,1	91,3x177,6	45,5x99,3
Atkı Sıklığı (tel/2cm)	37,3	40,6	37,6	37,6	35,3	37,3	38	35,3	36,3
Bordür(tel/2cm)	120	144	-	-	138	120	-	108	124
Bez (tel/2cm)	-	140	-	-	104	104	120+100	-	-
Çözümlü Sıklığı (tel/2cm)	55,3	62,6	49	49	54,3	55,3	54	51,6	52,3
Atkı İplik Numarası (Ne)	17,1	12,8	10,7	10,8	17,3	13,0	17,4	12,6	17,2
Zemin Ç. İplik Num. (Ne)	10,9 (21,8/2)	10,9 (21,8/2)	8,5 (17/2)	8,4 (16,8/2)	10,5 (21/2)	11,0 (22/2)	10,6 (21,2/2)	10,8 (21,6/2)	10,7 (21,4/2)
Hav Çözümlü İplik Num. (Ne)	15,4 (30,8/2)	17,5	6,7 (13,4/2)	6,7 (13,4/2)	17,5	16,3 (32,6/2)	17,6	17,4	16,9
Hav Yüksekliği	9,3	9,1	6,7	6,7	8,9	9,6	6,7	8,3	5,6
Atkı Krimpi (%)	18,25	15,95	15,40	14,00	21,95	18,15	20,85	17,60	20,90
Zemin Çözümlü Krimpi (%)	11,10	16,95	12,60	13,15	9,15	11,35	7,95	12,70	9,60

Çizelge 7.9.'un devamı

Fiziksel Özellikler	Numune No									
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Gramaj (gr/adet)	401,646	419,718	418,571	692,864	692,641	505,630	526,753	661,173	490,613	600,692
Gramaj (gr/m²)	391,75	772,42	761,66	631,49	626,38	500,33	526,81	631,51	471,66	600,42
Ebatlar (cmxcm) (Hav-hav)	69,6x136	95,4x 5,4	94,5x55,8	73x145	72,5x145,5	70x138,6	70 x 138	72,3x140	68,5x137,8	72,3x137
Ebatlar (cmxcm) (Tüm boy)	70,7x138	96,3x56,6	95,7x59	74x147,5	73,6x147,5	71x140,6	71,2x140	73,5x142	69,5x141	73,7x139
Atkı Sıklığı (tel/2cm)	37	42,6	40,6	37,6	37,3	35	35	37,6	35,3	38
Bordür(tel/2cm)	120	-	-	108	108	108	108	104	120	96
Bez (tel/2cm)	-	-	-	-	-	-	-	96	100	96
Çözümlü Sıklığı (tel/2cm)	52,3	49,3	49	55	56,6	52,3	52,6	54,3	53,3	55,6
Atkı İplik Numarası (Ne)	16,8	13,1	12,7	13,0	13,0	17,0	16,9	12,9	17,2	12,8
Zemin Ç. İplik Num. (Ne)	10,9 (21,8/2)	10,8 (21,6/2)	10,7 (21,4/2)	10,6 (21,2/2)	10,8 (21,6/2)	11,0 (22/2)	11,1 (22,2/2)	10,8 (21,6/2)	10,7 (21,4/2)	10,6 (21,2/2)
Hav Çözümlü İplik Num. (Ne)	17,8	8,8 (17,6/2)	8,7 (17,4/2)	17,9	17,9	17,5	17,4	17,2	17,5	18,0
Hav Yüksekliği	5,2	6,7	6,7	9,8	9,8	7,9	8,3	9,5	7,0	8,8
Atkı Krimpi (%)	20,25	12,30	12,50	17,90	18,00	19,70	18,25	14,75	23,30	17,40
Zemin Çözümlü Krimpi (%)	9,40	13,95	13,20	13,85	14,50	9,60	8,70	11,10	9,40	14,00

Çizelge 7.9.'un devamı

Fiziksel Özellikler	Numune No							
	40	41	42	43	44	45	46	47
Gramaj (gr/adet)	577,610	573,363	599,500	-	-	67,341	286,311	160,678
Gramaj (gr/m ²)	632,71	558,09	598,50	586,59	522,08	493,06	568,58	550,27
Ebatlar (cmxcm) (Hav-hav)	69,5x122,5	71,5x137	71,9x129,5	95x177,7	89,5x170	31,4x31	100,7x47	38x70,8
Ebatlar (cmxcm) (Tüm boy)	70,6x 24,5	72,6x139	73,2x 32,5	96,2x 80,7	90,7x173	32,2x34	101,8x49	39x73,5
Atkı Sıklığı (tel/2cm)	41,6	34,3	37,3	39	39	33,3	40	34,3
Bordür(tel/2cm)	-	112	88	-	-	120	-	96
Bez (tel/2cm)	106	-	118	-	-	88	-	-
Çözü Sıklığı (tel/2cm)	53	53,6	55,6	54,3	51,3	55,6	52	51,3
Atkı İplik Numarası (Ne)	10,7	16,9	12,7	16,6	17,1	16,5	16,9	17,5
Zemin Ç. İplik Num. (Ne)	11,0 (22/2)	10,8 (21,6/2)	11,1 (22,2/2)	10,7 (21,4/2)	10,7 (21,4/2)	11,0 (22/2)	10,4 (20,8/2)	10,9 (21,8/2)
Hav Çözü İplik Num. (Ne)	18,5	17,4	17,2	10,7 (21,4/2)	13,2	19,8	10,7 (21,4/2)	17,4
Hav Yüksekliği	9,7	8,5	8,6	5,7	6,2	7,3	6,1	9,2
Atkı Krimpi (%)	19,50	17,10	15,65	16,95	18,30	17,80	10,00	19,00
Zemin Çözü Krimpi (%)	11,00	11,55	11,65	9,25	7,20	10,45	13,45	9,40

Çizelge 7.10. Numunelerin fiziksel özelliklerinin dağılma aralıkları

Fiziksel Özellik	Dağılma Aralığı
m ² gramajı (gr/m ²)	389,15-979,96
Hav yüksekliği (-)	5,2-11,0
Atkı sıklığı (tel/2cm)	33,3-43,3
Çözü sıklığı (tel/2cm)	49-64
Atkı iplik numarası (Ne)	10,6-18,2
Zemin çözgü iplik numarası (Ne)	16,2/2-22,2/2
Hav çözgü iplik numarası (Ne)	6,7-19,8 (11 adet numunenin hav çözgüsü çift katlıdır)
Atkı krimp (%)	10-23,30
Zemin çözgü krimp (%)	7,2-20,35

7.2.2. Numunelerin Performans Özellikleri

Çalışma kapsamında, havlu kumaşların sahip olması gereken performans özelliklerinden yumuşaklık, hidrofilite ve atkı-çözgü kopma mukavemetleri değerlendirmeye alınmıştır. Buna göre, temel prensibi “Materyal ve Metot” bölümünde detaylı olarak anlatılan “Dairesel Eğme Test Metodu” kullanılarak yapılan testler sonucu elde edilen yumuşaklık derecesi değerleri “kg” cinsinde Çizelge 7.11’de verilmiştir. Her havlu için üç ölçüm yapılmış ve bunların aritmetik ortalaması alınarak çizelge haline getirilmiştir. Görüldüğü gibi numune olarak kullanılan havluların yumuşaklık dereceleri 0,62 ile 7,80 kg arasında değişim göstermiştir. Ancak tez çalışmasında toplam 47 adet havlu numune olarak kullanılmakta olup bunlardan 40 adedine yumuşaklık testi yapılabilmektedir. Geriye kalan 7 adet havlunun boyutları numune almaya uygun olmadığından söz konusu test uygulanamamıştır.

Çizelge 7.11. Numunelerin yumuşaklık değerleri

Numune No	Yumuşaklık Değerleri (Kg)			
	1 nolu ölçüm	2 nolu ölçüm	3 nolu ölçüm	Ortalama
1	1,94	1,70	1,82	1,82
2	1,67	1,67	1,49	1,61
3	3,45	4,48	3,95	3,96
4	2,12	1,91	2,13	2,05
5	4,46	5,89	5,16	5,17
6	2,97	2,89	2,80	2,89
8	6,42	7,42	6,80	6,88
9	4,05	4,60	4,81	4,49
10	2,38	1,85	2,50	2,24
11	3,38	2,51	3,36	3,08
12	7,21	7,65	8,54	7,80
13	4,77	5,70	4,42	4,96
14	6,39	7,25	6,83	6,82
15	4,27	4,55	3,87	4,23
16	5,96	5,40	6,05	5,80
18	4,37	4,34	4,76	4,49
19	0,93	0,53	0,63	0,70
20	2,51	2,71	2,58	2,60
21	3,39	4,05	3,26	3,57
22	3,09	3,44	3,89	3,47
26	6,66	5,30	5,12	5,69
27	1,83	1,38	1,65	1,62
28	1,55	1,53	1,48	1,52
30	0,69	0,57	0,61	0,62
31	6,98	6,41	7,08	6,82
32	6,85	6,75	7,84	7,14
33	3,93	4,12	3,46	3,84
34	3,55	3,42	2,99	3,32
35	1,57	1,62	1,46	1,55
36	2,02	1,38	1,63	1,68
37	3,38	3,10	3,73	3,40
38	1,21	1,04	1,06	1,10
39	3,07	3,72	3,18	3,32

Çizelge 7.11.'in devamı

Numune No	Yumuşaklık Değeri (Kg)			
	1 nolu ölçüm	2 nolu ölçüm	3 nolu ölçüm	Ortalama
40	3,59	4,63	4,20	4,14
41	2,53	2,63	2,23	2,46
42	2,62	2,90	2,87	2,80
43	3,81	3,37	4,19	3,79
44	1,97	1,67	2,01	1,88
45	1,10	1,13	1,11	1,11
47	1,72	2,13	1,86	1,90

Hidrofilite derecelerini belirlemek amacıyla, çalışma kapsamında numune olarak kullanılan havluların 41 adedinden (diğer numunelerin boyutları test için uygun değildir) standartlara uygun olarak hazırlanan 3'er numuneye uygulanan batma testi sonuçları ve bunların aritmetik ortalaması "sn" cinsinden Çizelge 7.12'de verilmiştir. Aynı numuneye ait batma süresi değerlerinde farklılıklar olabildiği çizelgeden görülebilmektedir. Havlu kumaşlarda hidrofilite derecesi, havların kumaş yüzeyindeki pozisyonundan oldukça önemli düzeyde etkilenmektedir. Havların dış etkenlerle yer yer birbirlerinin üzerine yatmış olması batma süresinin olması gerekenin üstünde çıkmasına neden olabilmektedir. Aynı numunenin üç ölçüm değeri arasındaki farklılığın temel nedeninin bu durum olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 7.12. Numunelerin **hidrofilite** değerleri (batma süreleri)

Numune No	Batma Süreleri (Hidrofilite Değerleri) (sn)			
	1 nolu ölçüm	2 nolu ölçüm	3 nolu ölçüm	Ortalama
1	485	516	440	480,3
2	89	125	104	106,0
3	172	148	109	143,0
4	142	103	186	143,7
5	48	40	124	70,7
6	21	32	12	21,7
7	99	118	93	103,3
8	41	33	50	41,3

Çizelge 7.12.'nin devamı

Numune No	Batma Süreleri (Hidrofilite Değerleri) (sn)			
	1 nolu ölçüm	2 nolu ölçüm	3 nolu ölçüm	Ortalama
9	72	49	71	64,0
10	57	35	58	50,0
11	75	142	116	111,0
12	95	64	129	96,0
13	21	14	8	14,3
15	13	15	14	14,0
16	22	19	13	18,0
17	305	487	593	461,7
18	37	17	11	21,7
19	64	90	139	97,7
20	47	46	46	46,3
21	203	102	117	140,7
22	64	40	56	53,3
25	65	80	80	75,0
26	215	48	247	170,0
27	113	139	157	136,3
28	15	24	40	26,3
30	119	185	138	147,3
33	8	17	13	12,7
34	17	27	16	20,0
35	38	54	42	44,7
36	50	68	60	59,3
37	23	17	14	18,0
38	149	52	91	97,3
39	50	60	39	49,7
40	21	21	34	25,3
41	40	42	47	43,0
42	66	58	63	62,3
43	453	393	265	370,3
44	20	31	52	34,3
45	30	28	28	28,7
46	150	903	273	442,0
47	54	61	46	53,7

Numune almaya elverişli boyutlardaki havlulardan (32 adet) standartlara uygun olarak hazırlanan atkı ve çözgü yönündeki 5'er numuneye uygulanan kopma mukavemeti testi sonucu elde edilen değerlerin ortalaması atkı ve çözgü yönü için ayrı ayrı olmak üzere Çizelge 7.13'te verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi numunelerin çözgü yönündeki ortalama kopma mukavemeti değerleri minimum 295 N, atkı yönündeki ortalama kopma mukavemeti değerleri ise minimum 327 N olarak tespit edilmiştir. Buna göre numunelerin tümünün atkı yönündeki kopma mukavemeti değerleri TS 629'a göre olması gereken alt limitin üstünde gerçekleşirken çözgü yönünde ise 4 numune dışındaki havluların iyi bir kopma mukavemeti gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 7.13. Numunelerin kopma mukavemeti değerleri

Numune No	Ortalama Kopma Mukavemeti (N)	
	Çözgü Yönü	Atkı Yönü
3	391,60	507,94
4	358,59	464,58
5	372,23	391,98
6	329,94	404,02
8	534,46	451,13
9	381,26	387,43
10	317,80	435,76
11	388,43	336,60
12	396,05	567,68
13	364,35	376,35
15	421,25	Kopmadı (598,52)
16	401,45	Kopmadı (601,38)
18	570,24	Kopmadı (601,45)
20	391,43	490,27
21	374,88	343,45
22	451,27	577,99
26	385,77	542,84
27	375,95	351,48
28	369,87	469,00
30	362,77	364,74

Çizelge 7.13.'ün devamı

Numune No	Ortalama Kopma Mukavemeti (N)	
	Çözümlü Yönü	Atkı Yönü
33	413,75	545,22
34	395,85	553,38
35	299,23	327,99
36	295,75	340,67
37	452,56	547,39
38	456,02	415,03
39	429,30	570,56
40	449,21	Kopmadı (601,57)
41	402,43	346,83
42	415,68	569,49
43	415,87	404,99
44	429,07	407,28

Çizelgeden görüldüğü gibi 15, 16, 18 ve 40 nolu havluların atkı yönündeki numuneleri testlerin gerçekleştirildiği cihazda kopmamıştır. Bu durum testin uygulandığı cihazın maksimum yükleme kapasitesinin 600 N olmasından kaynaklanmaktadır. Söz konusu numunelerin kopma mukavemeti 600 N'un üstünde olduğundan ve cihaz bu değerin üstünde yük uygulayamadığından bu havluların kopma dayanımı değerleri belirlenememiş ve çizelgede bu numuneler için "kopmadı" ifadesi kullanılmıştır. Ancak bu numunelerden regresyon analizinde veri olarak yararlanılmamıştır.

8. İSTATİSTİKSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLAR

Çalışma kapsamında, havlu kumaşların seçilmiş fiziksel özellikleri ve performans özelliklerini üretime geçmeden önce tahmin edebilmek ve kurulacak optimizasyon modelinde kısıt olarak kullanılmak üzere regresyon denklemleri oluşturulması hedeflenmiştir. Bu amaçla SPSS istatistiksel paket programı kullanılmış ve deneysel olarak tespit edilmiş olan, hav çözgü iplik numarası (HN), zemin çözgü iplik numarası (ZN), atkı iplik numarası (AN), gramaj (G), atkı sıklığı (AS), çözgü sıklığı (CS), hav yüksekliği (HY), atkı krimp (KA), zemin çözgü krimp (KZ), yumuşaklık (Y), hidrofilite (H), atkı kopma mukavemeti (Akop) ve çözgü kopma mukavemeti (Ckop) değişkenlerine ait ortalama ölçüm değerleri Çizelge 8.1’de görüldüğü şekliyle SPSS veri sayfasına girilmiştir. Burada ilk sütun (No) deneysel çalışmada havluları tanımlamak amacıyla verilen numune numaralarını ifade etmektedir. Söz konusu verilerin elde edilme biçimleri “Materyal ve Metod” bölümünde detaylı olarak verilmiştir.

Ancak bazı numunelerde yumuşaklık, hidrofilite, atkı kopma mukavemeti ve çözgü kopma mukavemeti değerlerinin eksik olduğu görülmektedir. Bu durum daha önce de belirtildiği gibi, numune boyutları nedeniyle veya kumaş konstrüksiyonunun bazı testlere uygun olmamasından dolayı testlerin tamamının bütün numunelere uygulanamamasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 8.1. SPSS veri sayfasına girilen ölçüm değerleri

No	HN	ZN	AN	G	AS	CS	HY	KA	KZ	Y	H	Akop	Ckop
1	18,4	10,7	12,30	515,43	37,0	53,0	7,60	19,25	20,35	1,82	480,3	-	-
2	17,6	10,6	12,30	503,70	34,6	52,6	8,10	20,25	11,80	1,61	106,0	-	-
3	18,2	10,6	12,30	619,56	39,3	56,3	9,30	19,35	16,25	3,96	143,0	507,94	391,60
4	18,1	10,6	12,30	519,08	37,6	52,3	8,20	21,20	12,00	2,05	143,7	464,58	358,59
5	18,3	8,10	12,10	663,54	39,0	57,0	10,5	20,90	13,30	5,17	70,7	391,98	372,23
6	17,4	8,10	12,10	579,45	40,0	54,0	9,20	20,80	10,55	2,89	21,7	404,02	329,94
7	17,6	8,10	12,10	608,97	40,6	51,3	10,5	12,85	14,60	-	103,3	-	-
8	10,9	8,10	12,10	678,86	34,3	55,0	6,20	14,00	19,80	6,88	41,3	451,13	534,46
9	17,8	10,7	17,29	673,52	36,3	61,0	9,70	20,90	18,90	4,49	64,0	387,43	381,26
10	17,5	10,4	17,01	529,83	37,0	53,0	8,60	19,25	14,75	2,24	50,0	435,76	317,80
11	10,4	10,7	16,45	560,40	35,0	51,0	5,30	17,30	12,95	3,08	111,0	336,60	388,43
12	18,2	10,3	14,59	771,28	40,6	64,0	11,0	20,70	18,40	7,80	96,0	567,68	396,05

Çizelge 8.1.'in devamı

No	HN	ZN	AN	G	AS	CS	HY	KA	KZ	Y	H	Akop	Ckop
13	13,9	10,3	16,50	668,40	37,0	55,0	8,60	17,15	15,55	4,96	14,3	376,35	364,35
14	9,00	10,5	12,20	692,62	43,3	50,6	5,90	16,60	13,50	6,82	-	-	-
15	17,4	10,6	12,80	692,53	40,3	63,3	9,00	20,25	15,65	4,23	14,0	-	421,25
16	17,4	10,5	12,01	724,72	42,3	57,0	10,7	19,80	18,30	5,80	18,0	-	401,45
17	18,1	10,6	18,20	503,15	40,6	52,0	7,90	17,65	8,70	-	461,7	-	-
18	17,2	8,50	10,60	692,56	37,0	54,6	9,90	18,60	14,00	4,49	21,7	-	570,24
19	17,0	10,9	17,20	389,15	34,6	54,3	5,30	19,30	7,50	0,70	97,7	-	-
20	16,9	10,8	13,00	601,41	36,6	55,6	8,70	21,80	11,35	2,60	46,3	490,27	391,43
21	15,4	10,9	17,10	624,11	37,3	55,3	9,30	18,25	11,10	3,57	140,7	343,45	374,88
22	17,5	10,9	12,80	659,87	40,6	62,6	9,10	15,95	16,95	3,47	53,3	577,99	451,27
23	6,70	8,50	10,70	967,00	37,6	49,0	6,70	15,40	12,60	-	-	-	-
24	6,70	8,40	10,80	979,96	37,6	49,0	6,70	14,00	13,15	-	-	-	-
25	17,5	10,5	17,30	538,67	35,3	54,3	8,90	21,95	9,15	-	75,0	-	-
26	16,3	11,0	13,00	664,57	37,3	55,3	9,60	18,15	11,35	5,69	170,0	542,84	385,77
27	17,6	10,6	17,40	467,76	38,0	54,0	6,70	20,85	7,95	1,62	136,3	351,48	375,95
28	17,4	10,8	12,60	536,61	35,3	51,6	8,30	17,60	12,70	1,52	26,3	469,00	369,87
29	16,9	10,7	17,20	401,84	36,3	52,3	5,60	20,90	9,60	-	-	-	-
30	17,8	10,9	16,80	391,75	37,0	52,3	5,20	20,25	9,40	0,62	147,3	364,74	362,77
31	8,80	10,8	13,10	772,42	42,6	49,3	6,70	12,30	13,95	6,82	-	-	-
32	8,70	10,7	12,70	761,66	40,6	49,0	6,70	12,50	13,20	7,14	-	-	-
33	17,9	10,6	13,00	631,49	37,6	55,0	9,80	17,90	13,85	3,84	12,7	545,22	413,75
34	17,9	10,8	13,00	626,38	37,3	56,6	9,80	18,00	14,50	3,32	20,0	553,38	395,85
35	17,5	11,0	17,00	500,33	35,0	52,3	7,90	19,70	9,60	1,55	44,7	327,99	299,23
36	17,4	11,1	16,90	526,81	35,0	52,6	8,30	18,25	8,70	1,68	59,3	340,67	295,75
37	17,2	10,8	12,90	631,51	37,6	54,3	9,50	14,75	11,10	3,40	18,0	547,39	452,56
38	17,5	10,7	17,20	471,66	35,3	53,3	7,00	23,30	9,40	1,10	97,3	415,03	456,02
39	18,0	10,6	12,80	600,42	38,0	55,6	8,80	17,40	14,00	3,32	49,7	570,56	429,30
40	18,5	11,0	10,70	632,71	41,6	53,0	9,70	19,50	11,00	4,14	25,3	-	449,21
41	17,4	10,8	16,90	558,09	34,3	53,6	8,50	17,10	11,55	2,46	43,0	346,83	402,43
42	17,2	11,1	12,70	598,50	37,3	55,6	8,60	15,65	11,65	2,80	62,3	569,49	415,68
43	10,7	10,7	16,60	586,59	39,0	54,3	5,70	16,95	9,25	3,79	370,3	404,99	415,87
44	13,2	10,7	17,10	522,08	39,0	51,3	6,20	18,30	7,20	1,88	34,3	407,28	429,07
45	19,8	11,0	16,50	493,06	33,3	55,6	7,30	17,80	10,45	1,11	28,7	-	-
46	10,7	10,4	16,90	568,58	40,0	52,0	6,10	10,00	13,45	-	442,0	-	-
47	17,4	10,9	17,50	550,27	34,3	51,3	9,20	19,00	9,40	1,90	53,7	-	-

Değişkenlere ait ölçüm değerlerinin SPSS veri sayfasına girilmesinden sonra istatistiksel testlere geçilebilmektedir. İstatistiksel testler “parametrik” ve “parametrik olmayan” testler şeklinde iki gruba ayrılmaktadır. Parametrik testlere; t-testi, varyans analizi, regresyon analizi, korelasyon analizi, parametrik olmayan

(non-parametrik) testlere ise Ki-kare testi, Wilcoxon testi, Friedman testi örnek olarak verilebilmektedir. Genel olarak parametrik testler parametrik olmayanlara göre daha güçlü ve esnektir. Uygulamada parametrik testlerin kullanılabilmesi için aşağıda verilmiş olan koşulların sağlanması gerekmektedir (Ural ve Kılıç,2005):

- 1) Veriler nicel nitelikte olmalıdır.
- 2) Veriler normal dağılım veya normale yakın dağılım göstermelidir.
- 3) Varyanslar homojen olmalıdır (grupların dağılımlarının yaygınlıkları benzer olmalıdır).
- 4) Örneklemi oluşturan birimler evrenden yansız olarak seçilmelidir.
- 5) Örneklemi oluşturan birimler birbirinden bağımsız olmalıdır.
- 6) Örneklem büyüklüğü 10'dan az olmamalıdır.

Çalışma kapsamında seçilen değişkenlerin her birinin ölçüm sayıları 10'dan büyük olup, tarafsız olarak seçilmiş, nicel nitelikte verilerdir. Ancak tekstile ilgili deneysel çalışmalarda, özellikle numuneler kumaş formunda ise yapılan ölçümlerin tekrarlanma oranı genellikle düşüktür ve bunun yanı sıra bazı değişkenlerin almış oldukları değerlerin dağılma aralığı da çok geniş tutulamamaktadır. Bu nedenlerden dolayı söz konusu çalışmalarda verilerin normal dağılması ve varyansların homojen olması her zaman beklenen ve mutlaka olması gereken bir durum olmayabilmektedir.

Çalışma kapsamında kullanılan verilerin normal dağılıma uygunluğu ve rastgelelik durumu istatistiksel testler yardımıyla SPSS paket programı kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

Buna göre değişkenlere ait ölçüm değerlerinin veri sayfasına girilmesinden sonra SPSS paket programı kullanılarak sırasıyla aşağıdaki analizler gerçekleştirilmiştir.

- 1) Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi (normallik testi)
- 2) Histogram grafiklerinin oluşturulması
- 3) Wald-Wolfowitz diziler (RUNS) testi (rastgelelik testi)
- 4) Regresyon analizi
- 5) Korelasyon analizi

8.1. Kolmogorov-Smirnov Testinin Uygulanışı ve Sonuçlar

Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi rastgele elde edilmiş verilerin belirli bir dağılıma (uniform, normal veya poisson) uyup uymadığını test etmek amacıyla kullanılmaktadır.

K-S testinin uygulanabilmesi için “ANALYZE” menüsünden sırasıyla “non-parametric tests” ve “1-sample k-s” seçilir. Açılan pencerede “Test variable list” kısmına test edilecek değişken veya değişkenler taşınır. “Test distribution” bölümünde de “Normal” seçeneği işaretlenir. Böylelikle veri grubunun normal dağılıma uygunluğu test edilmiş olmaktadır. Elde edilen çıktı sayfasındaki tabloda verilen “Asymp. Sig (2-tailed)” değerinin (p) 0,05’ten büyük olması ($p > 0,05$) değişken verilerinin normal dağılım gösterdiğini ifade etmektedir (Akgül ve Çevik, 2003).

Hidrofilite, yumuşaklık, atkı ve çözgü kopma dayanımı değerlerine uygulanan K-S testi sonuçları Çizelge 8.2’de, fiziksel özelliklerin ölçüm değerlerine uygulanan test sonuçları ise Çizelge 8.3’te verilmektedir.

Çizelge 8.2. Performans özelliklerinin normallik (K-S) testi sonuçları

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		AKOP	CKOP	HIDRO	YUM
N		28	31	41	40
Normal Parameters a,b	Mean	446,14536	398,00937	102,80244	3,45825
	Std. Deviation	86,23962	57,27520	120,61899	1,92097
Most Extreme Differences	Absolute	,155	,131	,234	,093
	Positive	,141	,131	,234	,093
	Negative	-,155	-,117	-,228	-,085
Kolmogorov-Smirnov Z		,818	,730	1,499	,590
Asymp. Sig. (2-tailed)		,515	,661	,022	,878

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Çizelge 8.3. Fiziksel büyüklüklerin normallik (K-S) testi sonuçları

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test									
	HN	ZN	AN	G	AS	CS	HY	KA	KZ
N	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Normal Parametre Mean	15,8064	10,3532	14,3543	05,3800	37,7255	54,1128	8,1298	18,0766	12,6468
Std. Deviation	3,4864	,9089	2,4513	21,8827	2,4654	3,3901	1,6066	2,8225	3,2681
Most Extreme Absolute Differences	,347	,330	,249	,109	,137	,160	,111	,111	,084
Positive	,199	,206	,249	,109	,137	,160	,111	,073	,084
Negative	-,347	-,330	-,229	-,072	-,077	-,076	-,104	-,111	-,065
Kolmogorov-Smirnov Z	2,376	2,263	1,705	,750	,941	1,098	,762	,760	,577
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000	,000	,006	,627	,338	,179	,607	,610	,894

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Şekillerden görüldüğü gibi hidrofilite (H), atkı iplik numarası (AN), zemin çözgü iplik numarası (ZN) ve hav çözgü iplik numarası (HN) dışındaki tüm veri grupları $p>0,05$ olduğundan normal dağılım göstermektedir.

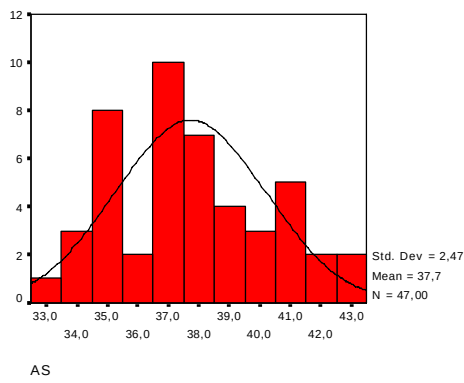
H, AN, HN ve ZN değişkenlerinin ölçüm değerlerinin K-S testi sonucu $p<0,05$ değeri elde edilmiştir. Ancak özellikle birim sayısının fazla olması durumunda, normallik testlerinde $p<0,05$ bulunması halinde verilerin normal dağılmadığını söylemek her zaman doğru olmamaktadır. Bu bakımdan, bir dağılımın normal olup olmadığı kararını verirken, hipotez testlerinin yanısıra grafiksel yöntemlere de başvurulması gerekmektedir (Akgül ve Çevik, 2003). Bu amaçla “histogram” veya “dal-yaprak” grafikleri kullanılabilir. K-S testi sonucu normal dağılıma uymadığı görülen değişkenlerin normallik durumu bir sonraki bölümde grafiksel olarak da test edilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

8.2. Histogram Grafiklerinin Oluşturulması ve Sonuçlar

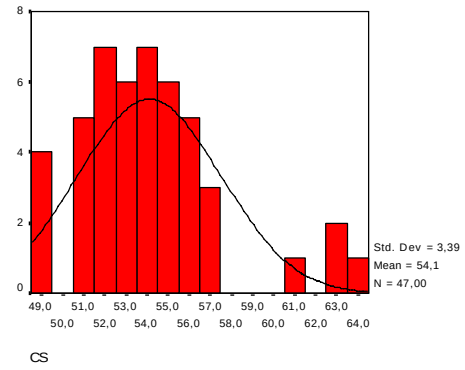
Daha önce belirtildiği gibi bir veri setinin normal dağılıma uymadığını kesin olarak söyleyebilmek için grafiksel olarak da test edilmesi gerekmektedir. SPSS veri sayfasına girilmiş değerlere ilişkin histogram grafiği çizilemek için “GRAPHS” menüsünden “Histogram” komutu verilir ve açılan pencerede grafiği çizilecek değişken “variable” bölümüne taşınır. Çizilecek histogram grafiği üzerinde normal dağılım eğrisininde olması istenirse aynı pencerenin alt kısmında bulunan “Display

normal curve” seçeneği işaretlenir. Şekil 8.1.....8.13’te sırasıyla tüm değişkenlere ait verilerin histogram grafikleri ayrı ayrı verilmiştir.

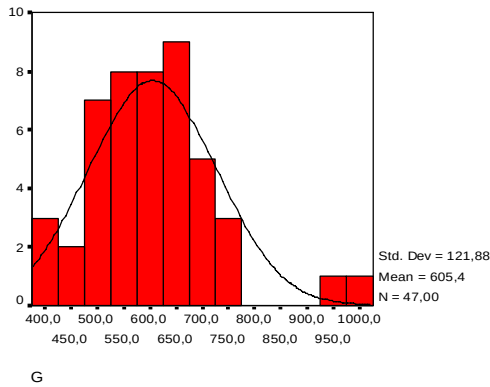
Elde edilen grafiğin normal dağılımı veya normale yakın dağılımı ifade etmesi için geniş bir değer aralığına sahip olması, eğrinin simetrik veya simetriğe yakın olması (çan şeklinde) gerekmektedir. Grafiklerden görüldüğü gibi K-S testi sonucu normal dağılım gösterdiği belirlenen tüm değişkenlerin histogram grafiklerinde de bu sonuç doğrulanmaktadır.



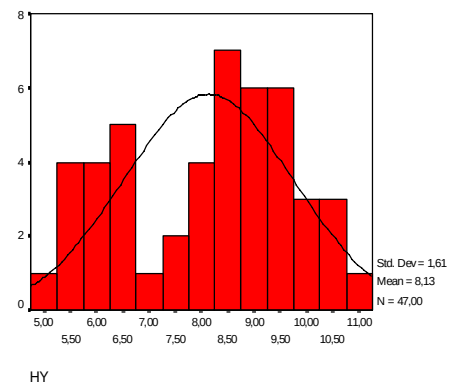
Şekil 8.1. AS (atkı sıklığı) verilerinin histogram grafiği



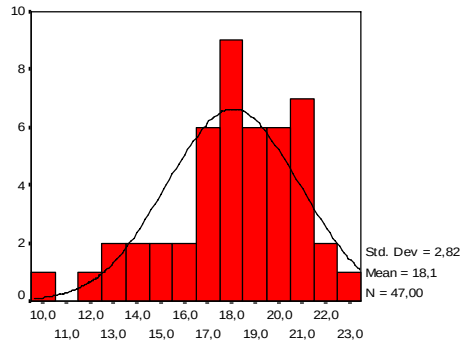
Şekil 8.2. CS (çözgü sıklığı) verilerinin histogram grafiği



Şekil 8.3. G (gramaj) verilerinin histogram grafiği

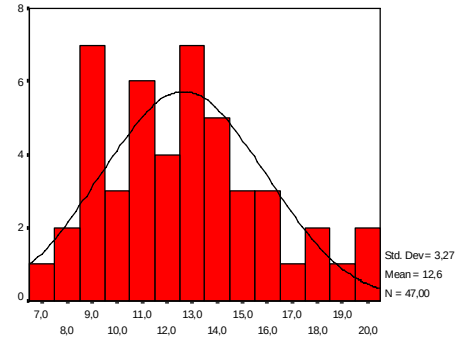


Şekil 8.4. HY (hav yüksekliği) verilerinin histogram grafiği



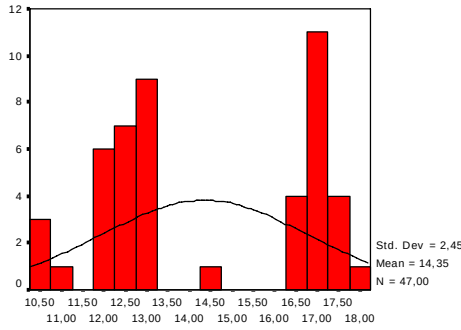
KA

Şekil 8.5. KA (atkı krimp) verilerinin histogram grafiği



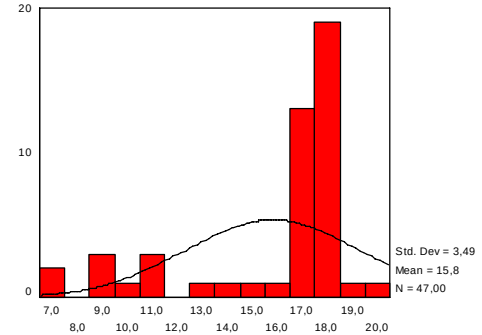
KZ

Şekil 8.6. KZ (zemin çözgü krimp) verilerinin histogram grafiği



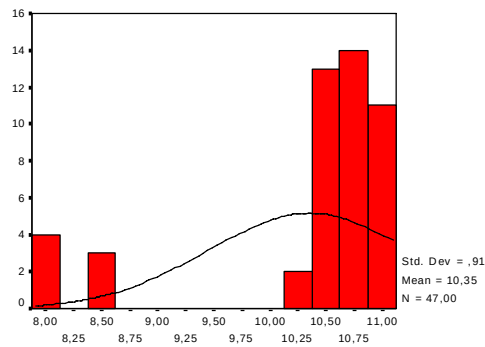
AN

Şekil 8.7. AN (atkı iplik numarası) verilerinin histogram grafiği



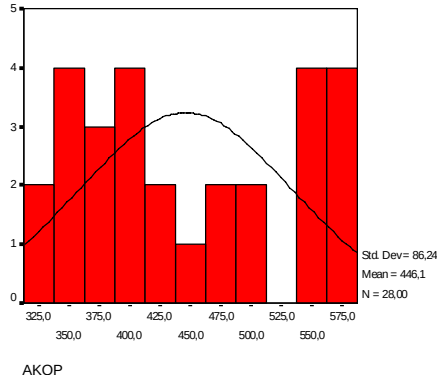
HN

Şekil 8.8. HN (hav çözgü iplik numarası) verilerinin histogram grafiği

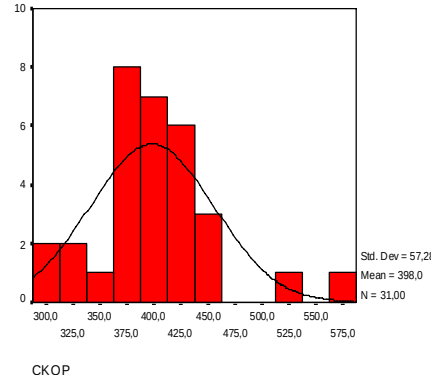


ZN

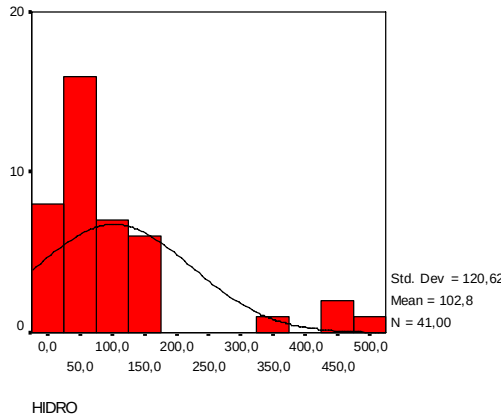
Şekil 8.9. ZN (zemin çözgü iplik numarası) verilerinin histogram grafiği



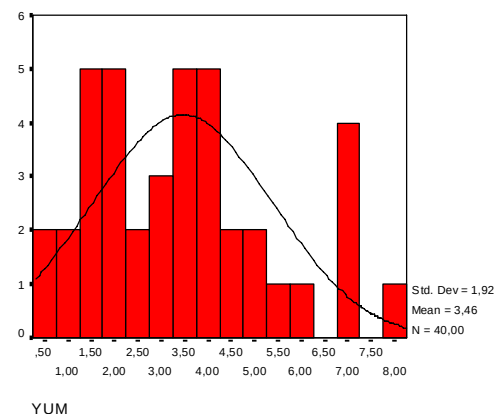
Şekil 8.10. Akop verilerinin histogram grafiği



Şekil 8.11. Ckop verilerinin histogram grafiği



Şekil 8.12. H (hidrofilite) verilerinin histogram grafiği



Şekil 8.13. Y (yumuşaklık) verilerinin histogram grafiği

K-S testi sonucu $p < 0,05$ değeri elde edilen H, HN, ZN ve AN değişkenlerine ait grafikler incelendiğinde HN, AN ve H değişkenlerine ait eğrilerin çan şekline oldukça yakın olduğu (yaklaşık simetrik), tek tepe noktasına ve geniş bir dağılıma sahip oldukları görülmektedir. Bu nedenle “Merkezi Limit Teoremi”, normal olmayan bu dağılımların normale yakın kabul edilmesine olanak sağlamakta olup HN, AN ve H değişkenlerinin verilerinin de normal dağılım gösterdiği söylenebilmektedir (Akgül ve Çevik, 2003).

Bu durumda sadece ZN değerlerinin normal dağılım göstermediği görülmektedir. Ancak daha öncede belirtildiği gibi bazı değişkenlerin dağılım aralığını genişletmek pek mümkün olamamaktadır. Deneysel çalışma kapsamında ele

alınan numunelerin zemin çözgü iplik numaraları birbirine oldukça yakın olduğundan (Ne 8-11 arasında değişmektedir) normal dağılıma uymaması beklenen bir durumdur. Ancak bunu iyileştirmek mümkün olmadığından söz konusu değişkene de parametrik testler içerisinde yer verilmiştir.

8.3. Wald-Wolfowitz Diziler (Runs) Testinin Uygulanışı ve Sonuçları

Parametrik testlerin uygulanabilmesi için başka bir ifadeyle regresyon ve korelasyon analizi yapılabilmesi için değişkenlere ait verilerin rastgele seçilmiş olması gerekmektedir. Bir gözlemin/ölçümün değerinin kendisinden sonra gelen ölçümü etkilememesi halinde verilerin rastgele seçildiği ve birbirinden bağımsız olduğu söylenebilmektedir. Sürekli ve kesikli değişkenlerde farklı şekillerde yapılmakta olan RUNS testinde veriler girildikten sonra “ANALYZE” menüsünden sırasıyla “Nonparametric Tests” ve “Runs” seçenekleri seçilir. Açılan pencerede, verilerinin rastgelelik düzeyi test edilecek değişken veya değişkenler “Test variable list” bölümüne taşınır. Aynı penceredeki “Cut point” kısmında ise değişkenler sürekli olduğu için “mean” seçeneği işaretlenir. Söz konusu test sonucu elde edilen “significant” değerinin (p) 0,05’ten büyük olması verilerin bağımsız/rastgele seçildiğini ifade etmektedir (Akgül ve Çevik, 2003).

Çizelge 8.4’te performans özelliklerine ait verilerin rastgelelik testi sonuçları, Çizelge 8.5’de ise fiziksel özelliklerin ölçüm değerlerinin rastgelelik testi sonuçları görülmekte olup, ZN dışındaki tüm değişkenlerde $p > 0,05$ değerinin elde edildiği tespit edilmiştir.

Çizelge 8.4. Performans özelliklerine ait verilerin RUNS testi sonuçları

Runs Test				
	AKOP	CKOP	HIDRO	YUM
Test Value ^a	446,14536	394,32483	102,8024	3,4583
Cases < Test Value	15	16	28	22
Cases >= Test Value	13	15	13	18
Total Cases	28	31	41	40
Number of Runs	20	12	18	17
Z	1,770	-1,457	-,094	-1,068
Asymp. Sig. (2-tailed)	,077	,145	,925	,285

a. Mean

Çizelge 8.5. Fiziksel özelliklere ait verilerin RUNS testi sonuçları

Runs Test									
	HN	ZN	AN	G	AS	CS	HY	KA	KZ
Test Value	15,8064	10,3532	14,3543	05,3800	37,7255	54,1128	8,1298	18,0766	12,6468
Cases < Test Value	12	9	26	25	29	25	20	21	24
Cases >= Test Value	35	38	21	22	18	22	27	26	23
Total Cases	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Number of Runs	17	9	22	21	21	25	24	23	22
Z	-,536	-2,923	-,517	-,860	-,535	,028	,000	-,219	-,587
Asymp. Sig. (2-tailed)	,592	,003	,605	,390	,593	,977	1,000	,827	,557

a. Mean

8.4. Regresyon Analizinin Uygulanışı ve Çıktı Sayfasının Yorumlanması

Y bağımlı ve X bağımsız değişken olmak üzere iki değişken arasındaki sebep-sonuç ilişkisini matematiksel olarak ortaya koyan yönteme “**regresyon analizi**” adı verilmekte olup, bilinen bulgulardan faydalanılarak, gelecekteki olaylarla ilgili tahminler yapılmasını sağlamaktadır.

Regresyon analizinin uygulanması için değişkenlerin bağımlı ve bağımsız değişken olarak tanımlanması gerekmektedir.

Bağımlı değişken (yanıt değişkeni): Diğer değişkenlerin değeri değiştiğinde bu değişimden etkilenen değişkendir. Genellikle oluşturulacak eşitliğin sol tarafında yer almaktadır.

Bağımsız değişken (açıklayıcı değişken): “Regresör” olarak da ifade edilen, değeri rastgele koşullara göre belirlenen, bağımsız olarak değişim gösteren ve başka değişkenlerin değerleri üzerinde etkisi olan değişkenlerdir. Regresyon analizi yardımıyla oluşturulan eşitliğin genellikle sağ tarafında bulunmaktadır.

Bir bağımsız değişkenin yer aldığı analiz, “tek değişkenli regresyon analizi”, birden fazla bağımsız değişkenin bulunduğu analiz ise “çok değişkenli (çoklu) regresyon analizi” olarak adlandırılmaktadır.

Çoklu doğrusal regresyon analizi ile oluşturulmuş bir eşitliğin genel ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_nX_n$$

Burada; Y : Bağımlı değişken

$X_1, X_2, \dots, X_n$: Bağımsız değişkenler

b_0 : Sabit değer

$b_1, b_2, \dots, b_n$: Regresyon katsayıları

olarak ifade edilmektedir.

Genel olarak regresyon katsayıları ($b_1, b_2, \dots, b_n$); X’te meydana gelen bir birimlik değişimin Y’de kaç birimlik değişime neden olacağını belirtmektedir. “ b_0 ” sabit sayısı ise regresyon doğrusunun dikey eksenini kestiği noktayı göstermektedir.

Regresyon analiziyle ortaya konulan sonuçlara göre bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında bir ilişkinin olması, her zaman bağımsız değişkenin bağımlı değişkenin sebebi olduğunu göstermemektedir. İki değişken arasında bir ilişkinin olabilmesi için sebepsellik şart değildir. İlişki tamamen rastlantısal olarak ortaya çıkmış olabileceği gibi, iki değişkenin üçüncü bir değişkenle olan ilişkisinden de kaynaklanabilmektedir.

Regresyon analizinde bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında önemli sayılabilecek düzeyde ilişki bulunan bir model oluşturulmuş olsa bile, mutlaka bu modelin mantıksal ve bilimsel bir açıklamasının olması gerekmektedir.

Regresyon analizi sonucunda bulunan eşitlikte belirtilen ilişki fonksiyonel değil istatistiksel bir ilişkidir. İstatistiksel ilişkide her X değerine karşılık gelebilecek

olan Y değeri tek olmayıp, regresyon denklemi ile hesaplanan değer etrafında yer alan ve normal dağılıma benzer dağılım gösteren değerleri içerebilmektedir. Bu nedenle regresyon analizi sonucunda bulunan denklemin geçerli olduğu belirli bir güven aralığı bulunmakta olup, en yaygın kullanılan güven aralık değerleri %95 ve %99'dur.

Regresyon analizi yapabilmek için öncelikle bağımlı ve bağımsız değişkenler belirlenmekte, bunlara ait veri girişi yapılmakta ve daha sonra sırasıyla aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmektedir.

- 1) “ANALYZE” menüsünden sırasıyla “Regression” ve “Linear” seçenekleri tıklanır.
- 2) Açılan pencerede “Dependent” bölümüne bağımlı değişken olarak seçilen değişken, “Independent(s)” bölümüne ise bağımsız değişken olarak kullanılacak değişkenler taşınır.
- 3) “Method” bölümünde yeralan seçeneklerden en yaygın kullanılanı “enter” yöntemi olup çalışma kapsamında da bu yöntem tercih edilmiştir.
- 4) “OK” tuşu tıklanarak işlem bitirilir.

Yukarıda özetlenen işlemler bağımlı değişken olarak gramajın (G), açıklayıcı değişken olarak ise diğer fiziksel özelliklerin (HN, AN, AS, CS, HY, ZN) seçildiği bir analiz için gerçekleştirilmiş ve Şekil 8.14'te görülen çıktı sayfası elde edilmiştir. Şekilde görülen sonuçlar en temel haliyle, regresyon analizi sonuçlarının yorumlanması hakkında bilgi vermek amacıyla kullanılacaktır. Çalışma kapsamında yapılan gerçek analiz sonuçları daha sonra verilerek yorumlanmıştır.

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HY, ZN, AS, CS _a , AN, HN		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: G

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,949 ^a	,900	,885	41,2878

a. Predictors: (Constant), HY, ZN, AS, CS, AN, HN

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	615160,3	6	102526,721	60,144	,000 ^a
	Residual	68187,411	40	1704,685		
	Total	683347,7	46			

a. Predictors: (Constant), HY, ZN, AS, CS, AN, HN

b. Dependent Variable: G

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	626,162	155,780		4,020	,000
	HN	-36,015	2,704	-,030	-13,321	,000
	ZN	-2,032	8,029	-,015	-,253	,802
	AN	-11,675	3,241	-,235	-3,602	,001
	AS	-2,469	2,897	-,050	-,852	,399
	CS	8,022	2,267	,223	3,538	,001
	HY	48,731	6,020	,642	8,095	,000

a. Dependent Variable: G

Şekil 8.14. Çok değişkenli regresyon analizi çıktısı örneği

Yukarıda verilmiş olan çıktı sayfasında yer alan her bir çizelge ayrı ayrı ele alınarak aşağıda yorumlanmıştır:

- 1) **“Variables entered/removed”** başlığını taşıyan çizelge, modele dahil edilen ve edilmeyen değişkenleri ve seçilen metodu tanımlamaktadır. Buna göre çizelgeden, tüm değişkenlerin modele alındığı ve “enter” metodunun seçildiği görülmektedir.
- 2) **“Model Summary”** başlıklı çizelgede modelin belirleyiciliğini, açıklayıcılığını tanımlayan R , R^2 , $R^2_{(adj)}$ (R^2_d) gibi değerler yer almaktadır. **“R değeri”** bağımlı

değişkenle bağımsız değişkenler arasındaki korelasyonu simgelemektedir. Bu değer yüksek olması bağımsız değişkenle bağımlı değişken arasında sıkı bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

Şekilde görülen $R=0,949$ değeri bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında pozitif ve oldukça önemli bir ilişkinin olduğunu ifade etmektedir. Bu değer işaretini sadece ilişkinin yönünü ifade etmektedir, aradaki ilişkinin şiddeti R değerinin mutlak büyüklüğüyle yorumlanmaktadır. Bu durumda gramaj ile diğer fiziksel özellikler arasında istatistiksel olarak önemli bir ilişkinin olduğu söylenebilmektedir.

Aynı çizelgede yer alan “ **R^2 değeri**” ise “belirleme katsayısı” olarak tanımlanmaktadır. Bu değer bağımlı değişkendeki değişimin ne kadarının (%) olarak) bağımsız değişkenler tarafından açıklandığını ifade etmekte olup modelin açıklayıcılık gücünün bir ölçüsü olarak görülmektedir.

R^2 değerinin 1’e yaklaşması modelin belirleyicilik düzeyinin yükselmesi anlamına gelmektedir. Aynı durum R ve R^2_d değerleri içinde geçerlidir. Ancak $R^2=0$ olması, değişkenler arasında ilişki olmadığı anlamına gelmemektedir, bu durum değişkenler arasında “doğrusal ilişki” olmadığını ifade etmektedir. Regresyon katsayısı sıfıra eşitken iki değişken arasında doğrusal olmayan mükemmel bir ilişki olabilmektedir (Akgül ve Çevik, 2003).

Yukarıda verilmiş olan örnekte R^2 değeri 0,900 olarak belirlenmiş olup, bu değer havlu kumaşlarda gramaj değişkenindeki değişimin %90’ının modele açıklayıcı değişken olarak alınan değişkenler (HN, AN, ZN, AS, CS ve HY) ile açıklanabildiğini göstermektedir. Başka bir ifadeyle havlunun gramajını tahmin etmek AN, ZN, HN, AS, CS, HY değişkenleri kullanılarak %90 doğruluk payı ile mümkün olabilmektedir. Bu değişkenler dışında kalan faktörlerin etkisinin ise %10 civarında olduğu anlaşılmaktadır.

Aynı çizelgenin bir sonraki sütununda ise “**adjusted (düzeltilmiş) R^2 değeri (R^2_d)**” verilmektedir. Bir regresyon modeline eklenen her bağımsız değişken, bağımlı değişkeni açıklama yeteneği olmasa bile R^2 değerinin büyümesine neden olmaktadır. Bu durum ise modelin açıklayıcılığının iyileştiği gibi yanlış bir sonuç doğurmaktadır. Bu nedenle modele katkısı olmayan değişkenleri dikkate alarak

daha gerçekçi bir R^2 değeri hesaplanmakta ve bu değer ayarlanmış/düzeltilmiş R^2 (R_d^2) olarak ifade edilmektedir.

Şekildeki çizelgede görüldüğü gibi modelin R^2 değeri %90 iken, düzeltilmiş R^2 değeri % 88,5'e düşmüştür. Bu değer modelin belirleyiciliğinin yorumlanmasında ilk başvurulacak büyüklüktür. Bir bağımlı değişken için açıklayıcı değişken sayısı aynı olan birden fazla eşitliğin oluşturulması halinde bunlardan en uygununu seçerken R^2 değerine bakmak yeterli olabilmektedir. En yüksek R^2 değerine sahip olan model en uygun olanıdır. Ancak açıklayıcı değişken sayılarının farklı olması durumunda modeller kıyaslanırken R_d^2 değerlerine bakılması daha uygun olmaktadır.

R_d^2 değerleri aynı olan modellerin değerlendirilmesinde ise **“standart hata”** büyüklüklerine bakılmaktadır. Bu değer mümkün olduğunca küçük olması istenmektedir. Tahmin edilen ile gerçek değerler arasındaki farkın ölçütü olan standart hata, bağımlı değişkenin tahmin edilen değerlerinin etrafındaki güven aralığının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

- 3) **“ANOVA”** başlığıyla verilen çizelge ise regresyon modelinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu çizelgedeki “F değeri” açıklanan değişimin, açıklanmayan (hata terimi) değişime oranıdır. “Significant” sütunundaki değer ise anlamlılık düzeyini vermekte olup, $p < 0,01$ olması halinde modelin anlamlı olduğu söylenebilmektedir. Verilen örnekte oluşturulan modelin anlamlılık düzeyi oldukça yüksek bulunmuştur.
- 4) **“Coefficients”** başlığı ile verilen çizelgede yeralan **“B değerleri”** her bir açıklayıcı değişkenin modelde almış olduğu katsayıyı ve denklemin sabit değerini ifade etmektedir. Bu değer negatif olması söz konusu açıklayıcı değişken ile bağımlı değişken arasında ters orantılı bir değişim olduğunu, pozitif olması ise doğru orantılı bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Buna göre verilen analiz örneğiyle elde edilen eşitliğin aşağıdaki gibi olduğu söylenebilmektedir.

$$G=626,162-36,015*HN-2,032*ZN-11,675*AN-2,469*AS+8,022*CS+48,731*HY \quad (8.1)$$

Yukarıdaki eşitlikten, diğer tüm açıklayıcı değişkenlerin sabit tutulması halinde HN'deki 1 birimlik artışın gramaj değerinde 36,015 birim azalmaya neden olacağı anlaşılmaktadır.

Aynı çizelgedeki **“Beta değeri”** ise kısmi korelasyon katsayısı olup, diğer bağımsız değişkenlerin etkisi sabit tutulduğunda sözkonusu bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki ilişkinin ölçütünü vermektedir.

Bu çizelgede verilmiş olan, t-testi sonucu elde edilmiş **“significant değerleri”** ile her açıklayıcı değişkene ait anlamlılık düzeyi ayrı ayrı belirtilmiş durumdadır. Söz konusu değerin 0,05'in altında olması istenmekte olup bu durumda söz konusu bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasında anlamlı bir ilişki olduğu söylenebilmektedir. Ancak t-testi sonucu elde edilen değerlerin mutlaka serpm grafiği ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Yukarıdaki örnekte ZN ve AS değişkenlerine ait “t-testi significant” değerleri 0,05'in çok üstünde gerçekleşmiştir. Bu nedenle söz konusu değişkenlerin gramaj üzerindeki doğrusal etkisinin çok düşük olduğu veya bağımlı değişkenle aralarındaki ilişkinin anlamlı olmadığı söylenebilmektedir. Bu durumda bu değişkenlerin modele katılması ilave maliyet ve yük getirmenin dışında çok fazla etkili olmayacaktır. Bir yanıt değişkenini tanımlayan açıklayıcı değişken sayısının mümkün olduğunca düşük tutulması önerildiğinden bu değişkenler çıkarılarak analizin tekrar edilmesi önerilmektedir.

Artık Analizi

Regresyon analizi ile kurulan modelin tahminlemede kullanılıp kullanılmayacağı kararı verilmeden önce “Hata Terimleri” nin analiz edilmesi gerekmektedir. Söz konusu hata terimleri bir değişkene ait tahmin edilen değerler ile ölçülen değerler arasındaki farklara göre değerlendirilmektedir. Genel olarak, mutlak değer 2 veya 3'ten büyük olan standartlaştırılmış hata terimi değerleri **uç değerler** olarak ifade edilmektedir (Akgül ve Çevik, 2003). Hata terimleri uç değerlerine tekabül eden ölçümler kontrol edilmeli ve sözkonusu uç değer veri girişi hatasından kaynaklanmışsa düzeltilmeli ve analize devam edilmelidir.

Ancak farklı özelliklere sahip olarak dokunmuş olan tekstil mamullerinin fiziksel ve performans özelliklerinin ölçüm değerlerinde üretim şartlarından, hammadde özelliklerinden veya ölçüm cihazından kaynaklanan farklılıklar oluşabilmektedir. Örneğin numune alınan bölgedeki doku sıklığı veya iplik numarası gibi özelliklerdeki düzgünsüzlük ve homojensizlikler gramaj, yumuşaklık, kopma dayanımı gibi pek çok özelliğin olması gerekenden farklı değerler almasına neden olabilmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler ile denklemler kullanılarak tahmin edilen değerler arasındaki farkın, başka bir ifadeyle uç değer oluşumunun bu düzgünsüzlüklerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu düzgünsüzlüklerin tamamen ortadan kaldırılması mümkün olmadığından sözkonusu uç değerlerin çıkarılmasının, analizin geçerliliğini artıracak düşünülerek çalışma kapsamında “artık analizi” yapılmış ve tespit edilen uç değerleri veren veriler analizden çıkarılmıştır.

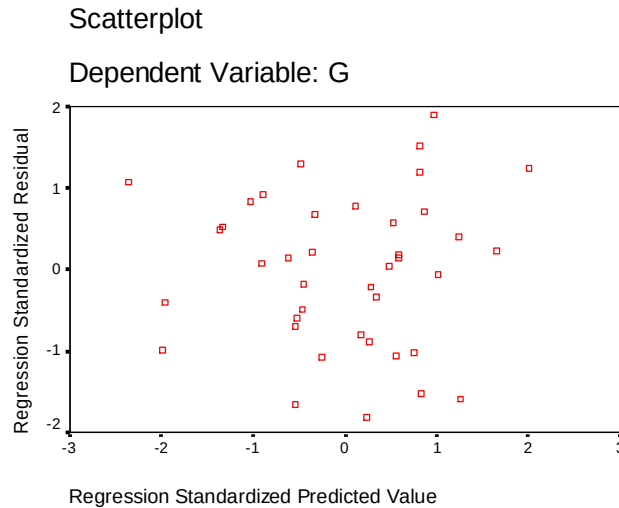
Sözkonusu artık analizi, lineer regresyon analizi sırasında yapılacak bazı seçimlerle gerçekleştirilebilmektedir. Bu amaçla “ANALYZE” menüsünden “Regression” ve “Linear” seçenekleri tıklanır. Lineer regresyon analizi uygulamasında olduğu gibi bağımlı ve bağımsız değişkenler seçilir ve daha sonra aynı penceredeki “Statistics” bölümüne girilir. Burada “Casewise diagnostics” bölümü tıklanır ve “Outliers outside (2) std deviations” kısmı seçilerek “Continue” tuşuna basılır ve ilk pencereye geri dönlür. “Plots” bölümüne girilerek, Y alanına “Dependent (bağımlı değişken)”, X alanına “Zresid (Standardize atıklar)” taşınır, “Normal probability plot” seçeneği işaretlenir ve devam tuşuna basılarak analiz sonlandırılır. Bunun sonucunda, Şekil 8.14’te verilmiş olan lineer regresyon analizi çıktısındakilere ek olarak “Casewise Diagnostics” başlıklı bir çizelge elde edilmektedir.

Burada “case number” sütununda yer alan sıra numarasına sahip veri/veriler dışındaki diğer birimlerin artıklarının normal sınırlar içinde olduğu, çizelgedeki veri/verilerin ise uç değer olarak tanımlanan gruba girdiği anlaşılmaktadır. Bu verilerin durumunun irdelenmesi ve gerekirse analizden çıkarılması önerilmektedir (Özdamar, 2002).

Kısmi Regresyon Serpme Grafikleri

Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında regresyon analizi ile belirlenen ilişkinin doğrusal olması gerekmektedir. İki değişken arasında doğrusal olmayan bir ilişki olması halinde çoklu regresyon uygun olmadığından bu varsayımı kontrol etmek için, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin serpme grafiklerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu amaçla doğrusal ilişkinin araştırılmasında, hata terimleri ile tahmin edilen değerler birlikte kullanılarak serpme grafikleri elde edilmelidir.

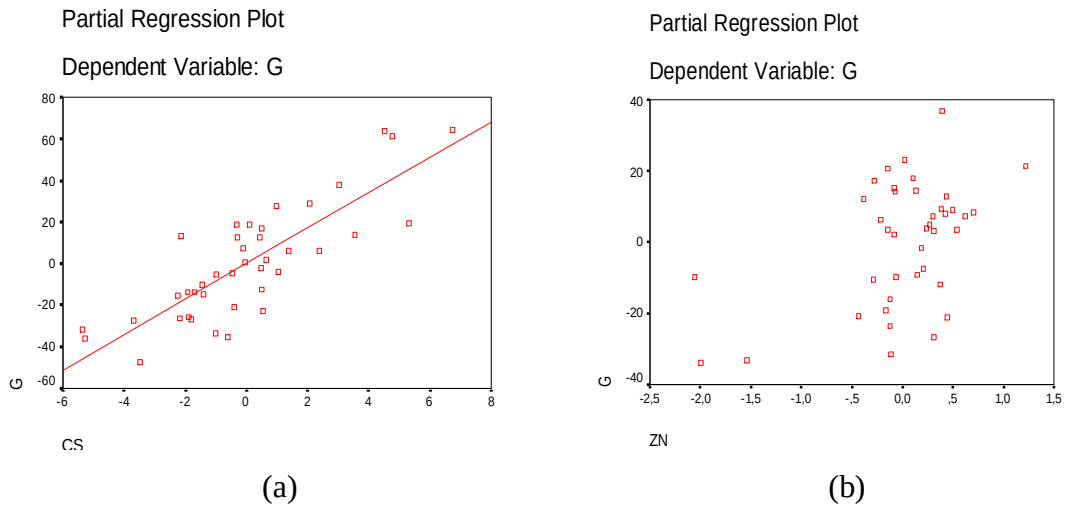
Serpme grafiğinde (Şekil 8.15) hata terimleri dikey ekseninde, tahmin edilen değerler yatay ekseninde gösterilmekte olup, ideal serpme grafiğinde, noktalar rasgele ve bir yığılma olmadan yaygın olarak dağılmalıdır. Eğer serpme grafiğinde noktalar bir eğriyi gösteriyorsa doğrusal ilişki varsayımı sağlanmamaktadır. SPSS’te sırasıyla “Analyze”, “Regression” ve “Linear” komutları ile açılan pencerede lineer regresyon analizi için bağımlı ve bağımsız değişkenler seçildikten sonra “Plots” bölümüne girilip Y alanına “Zresid (standartlaştırılmış atıklar)” ve X alanına “Zpred (tahmin edilen değerler)” taşınarak OK tuşuna basıldığında, regresyon analizi sonuçları ile birlikte serpme grafiği de elde edilmektedir.



Şekil 8.15. Hata terimleri ile standartlaştırılmış tahmin değerlerinin serpme grafiği örneği

Ayrıca her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkenle ilişkisinin şeklini veren **Kısmi regresyon serpmme grafikleri** de elde edilmek isteniyorsa yukarıdaki işlemler gerçekleştirilirken “Plots” bölümünde “produce all partial plots” seçeneği seçilmelidir. Kısmi regresyon serpmme grafiklerinde noktaların doğrusal bir formda dizilmiş olması halinde söz konusu bağımsız değişkenle bağımlı değişken arasında doğrusal bir ilişki olduğu söylenebilmektedir. Şekil 8.16’da verilen ilk grafikte doğrusal davranış, ikinci grafikte ise doğrusal olmayan bir ilişki görülmektedir.

Bu grafiklerde görülen davranışın şekli doğru veya eğrilerle desteklenmek istendiğinde **“Edit”** menüsünden sırasıyla SPSS Chart Object→Open seçenekleri tıklanır ve açılan pencerede Chart→Option→Fit line→Total→Fit Options bölümleri seçilir ve istenen davranış (linear, quadratic, cubic regression vb.) işaretlenerek işlem sonlandırılır. Şekil 8.16(a)’da yukarıda bahsedilen işlem basamakları uygulanarak noktaların genel dağılımının doğrusal olduğu, çizilen doğru ile desteklenmeye çalışılmıştır.



Şekil 8.16. Kısmi regresyon serpmme grafiği örnekleri

Model Tahmini (Curve Estimation)

SPSS’te veri setinden sadece iki değişken alınarak bu değişkenlerin arasındaki en uygun matematiksel bağıntının tipini ve matematiksel yapısını tahmin etmek için **“Curve Estimation”** seçeneğinden yararlanılmaktadır. Ayrıca lineer regresyon analizi sonucunda aralarında doğrusal bir ilişki olmadığı tespit edilen iki

değişkenin arasındaki en uygun bağıntıyı belirlemek için de bu seçenek kullanılmaktadır.

Model tahmini yapmak için “Analyze” menüsünden sırasıyla “Regression” ve “Curve Estimation” seçenekleri tıklanır. Açılan pencerede “Dependent” alanına bağımlı değişken, “Variable” alanına ise diğer değişken taşınır. “Models” alanında “doğrusal, logaritmik, karesel, kübik vb.” modeller yer almakta olup bunlardan biri veya birkaçı seçilir. Söz konusu modellerden bazılarının matematiksel ifadeleri aşağıda verilmiştir.

<u>Model</u>	<u>Eşitlik</u>
Doğrusal	$Y=b_0+b_1X$
Logaritmik	$Y= b_0+b_1\ln(X)$
Kuadratik	$Y= b_0+b_1X+b_2X^2$
Kübik	$Y= b_0+b_1X+b_2X^2+ b_3X^3$

Söz konusu analizin yorumu, doğrusal modeller ile aynıdır. Oluşturulan modeller karşılaştırılırken R^2 değerlerine bakılmakta ve bu değer en büyük olduğu model tercih edilmektedir (Akgül ve Çevik, 2003).

8.5. Regresyon Analizi Sonuçları

8.5.1. Fiziksel Özelliklerin Regresyon Analizi Sonuçları

Yukarıda örnek bir SPSS çıktısı üzerinde uygulama aşamaları ve sonuçların yorumlanma şekli özetlenen lineer regresyon analizi Çizelge 8.1’de görülen verilere uygulanarak tüm değişkenlerin (fiziksel ve performans özellikleri) sırasıyla bağımlı değişken olarak seçildiği çeşitli eşitlikler oluşturulmuştur. Bu analizlerde amaç, daha öncede belirtildiği gibi fiziksel özelliklerin kendi aralarındaki ve performans özellikleriyle olan ilişkilerini ortaya koymak ve söz konusu özelliklerin, bilinen bazı büyüklükleri kullanarak önceden tahmin edilmesini sağlayacak bağıntılar oluşturmaktır.

Normallik ve rastgelelik testleri uygulanmış olan verilere yapılan regresyon analizi sonuçları aşağıda verilmiş ve ayrı ayrı yorumlanmıştır. Ancak her analizde mutlaka artık analizi uygulanmış, uç değerlere sahip veriler analizden çıkarılmıştır. Bunun yanı sıra her bağımsız değişken için t-testine göre belirlenen “significant” değerleri irdelenerek $p > 0,05$ olan, başka bir ifadeyle bağımlı değişkenle arasındaki ilişki düşük düzeyde anlamlı veya önemsiz olan değişkenler analizden çıkarılarak işlem tekrarlanmıştır.

Her analizde öncelikle, seçilen bağımlı değişkeni etkilemesi beklenen değişkenler açıklayıcı değişken olarak seçilmiş ve bu değişkenler ile analize başlanmıştır. Örneğin; atkı kopma mukavemetinin bağımlı değişken olarak alındığı bir analizde, sözkonusu özelliği etkileyeceği düşünülen AN, AS, G ve KA değişkenleri ile analize başlanmış ve daha sonra t-testi sonuçlarına göre etkisi zayıf olan değişkenler sırasıyla çıkarılarak regresyon analizi tekrarlanmıştır. Ayrıca tüm bu işlemlerin ardından bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin şeklini veren kısmi regresyon serpmme grafiklerinde doğrusal ilişki olup olmadığı kontrol edilmiştir. Buna göre aşağıda verilmiş olan sonuçlar tüm bu işlemler yapıldıktan sonra elde edilen son çıktı görüntüleridir.

Regresyon analizi ile oluşturulan eşitliklerde fiziksel özellikler ve performans özellikleri için kullanılan semboller aşağıda tekrar özetlenmiştir:

HY	: Hav yüksekliği	H	: Hidrofilite
G	: Gramaj	Akop	: Atkı kopma mukavemeti
HN	: Hav çözgü iplik numarası	Ckop	: Çözgü kopma mukavemeti
ZN	: Zemin çözgü iplik numarası	Y	: Yumuşaklık
AN	: Atkı iplik numarası		
AS	: Atkı sıklığı		
CS	: Çözgü sıklığı		

a) Bağımlı Değişken: Gramaj (G)

Deneyssel çalışma sonucu elde edilen, 47 farklı havluya ait fiziksel özellik değerlerinin tümünün girildiği veri sayfasıyla (Çizelge 8.1), bağımlı değişken olarak G, bağımsız değişken olarak ise gramajı etkileyebileceği düşünüldüğünden tüm

fiziksel büyüklükler (krimpler hariç) alınarak regresyon analizi yapılmıştır. Bu amaçla sırasıyla aşağıdaki seçenekler işaretlenmiştir:

Analyze→Linear→Dependent (G)→Independent (AN, ZN, HN, CS, AS, HY)
→Method(Enter)→Statistics→Casewise Diagnostics/Outliers Outside (2) std.
deviations→Continue→Ok

Bu işlemlerin sonucunda artık analizi ile belirlenmiş olan veri setleri (satırlar) sırasıyla çıkarılarak analiz tekrarlanmış, t-testi sonuçlarına göre “sig. değeri” 0,05’in üstünde bulunduğundan “sabit” analizden çıkarılmış ve tüm bu adımlar sonucu Şekil 8.17’de verilen çıktı görüntüsü elde edilmiştir.

Model Summary^{c,d}

Model	R	R Square ^a	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1,000 ^b	,999	,999	16,5102

a. For regression through the origin (the no-intercept model), R Square measures the proportion of the variability in the dependent variable about the origin explained by regression. This CANNOT be compared to R Square for models which include an intercept.

b. Predictors: HY, AN, HN, AS, ZN, CS

c. Dependent Variable: G

ANOVA^{c,d}

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	13643105	6	2273850,766	8341,800	,000 ^a
	Residual	9267,895	34	272,585		
	Total	13652372 ^b	40			

a. Predictors: HY, AN, HN, AS, ZN, CS

b. This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.

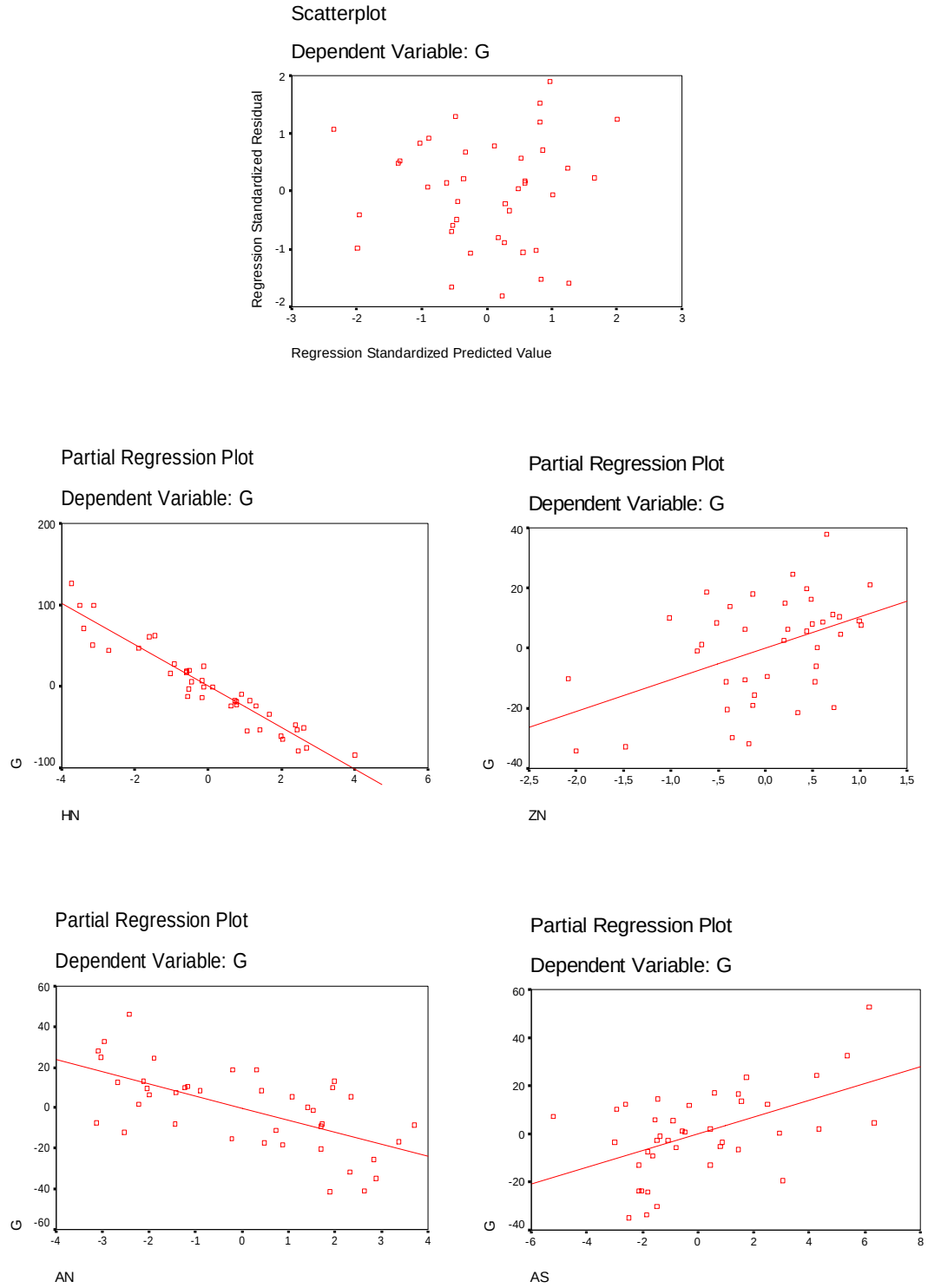
c. Dependent Variable: G

Coefficients^{a,b}

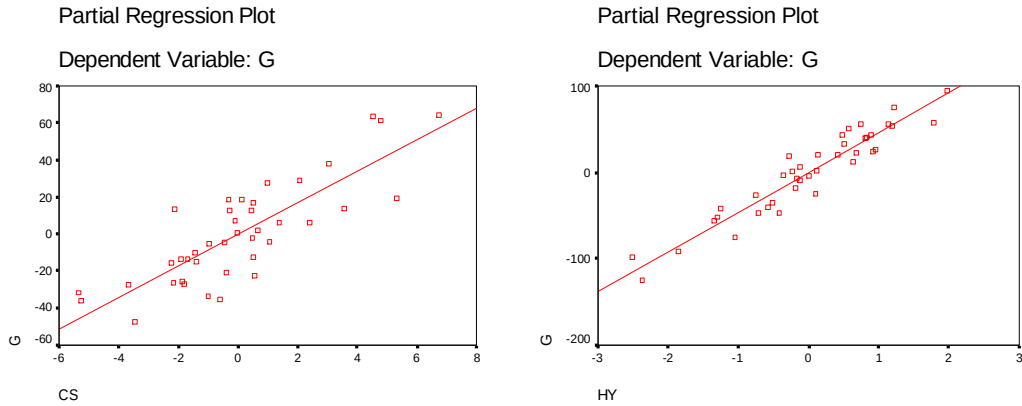
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	HN	-25,476	1,373	-,731	-18,556	,000
	ZN	10,407	3,494	,188	2,979	,005
	AN	-5,991	1,255	-,153	-4,772	,000
	AS	3,464	,992	,224	3,493	,001
	CS	8,545	1,004	,799	8,514	,000
	HY	46,100	2,565	,667	17,972	,000

a. Dependent Variable: G

Şekil 8.17. Bağımlı değişkenin G olduğu analiz sonuçları



Şekil 8.17.'nin devamı



Şekil 8.17.'nin devamı

Yukarıda çıktı görüntüsü verilmiş olan analiz sonucuna göre gramajın tahmin edilmesi amacıyla kullanılabilecek eşitlik aşağıda görülmektedir.

$$G = -25,476 \cdot HN + 10,407 \cdot ZN - 5,991 \cdot AN + 3,464 \cdot AS + 8,545 \cdot CS + 46,1 \cdot HY \quad (8.2)$$

$$R = 1,000$$

$$R^2 = 0,999$$

$$R^2_d = 0,999$$

Buna göre havlu kumaşlarda gramaj değeri HN ve AN ile ters orantılı, diğer büyüklüklerle doğru orantılı olarak değişmektedir ve verilen bu denklemin geçerliliği %99 ile oldukça yüksek bir düzeyde gerçekleşmiştir. Söz konusu eşitlikten her bir bağımsız değişkenin 1 birim değişmesi halinde bağımlı değişkende meydana gelebilecek değişim de görülmektedir. Örneğin HN değerinin 1 birim artırılması halinde gramaj değeri 25,476 birim azalacaktır.

Ayrıca modelin ANOVA testi sonuçlarına bakılacak olursa “significant” değerinin $p=0,000$ yani $p<0,01$ olarak gerçekleştiği başka bir ifadeyle bağımlı ve bağımsız değişkenlerin arasındaki ilişkinin %99 güvenilirlikle anlamlı olduğu söylenebilmektedir.

Bunun yanı sıra “Coefficients” başlıklı çizelgedeki “sig.” değerlerinin tümü 0,05’ten küçük olduğundan analizin son halinde, modele dahil edilen her bir açıklayıcı değişkenin bağımlı değişkene olan etkisinin ayrı ayrı oldukça önemli düzeyde olduğu söylenebilmektedir.

Her bir veri grubu için tahmin edilen değerler ile hata terimleri arasında oluşturulan serpmme grafiğinde, noktalar belirli bir şekil oluşturmadan dağıldığı için

bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında genel olarak doğrusal bir ilişki olduğundan söz edilebilmektedir. Bunun yanı sıra her bağımsız değişken için ayrı ayrı oluşturulan kısmi regresyon serpmе grafiklerinin tümünde de doğrusal veya doğrusala yakın davranışlar olduğu gözlenmiştir.

b) Bağımlı Değişken: Hav Yüksekliği (HY)

Bu analize bağımlı değişken olarak hav yüksekliği, bağımsız değişken olarak ise krimples hariç tüm değişkenler alınarak, Çizelge 8.1’de verilen değerler kullanılarak başlanmıştır. Ancak ilk çıktıda “t-sig.” değerleri yüksek olduğu için ZN, CS, AS ve AN değişkenleri ve regresyon sabiti sırasıyla çıkarılarak analiz tekrarlanmıştır. Ayrıca artık analizi sonucu belirlenen veriler de çıkarılarak aşağıda verilmiş olan (Şekil 8.18) çıktı görüntüsü elde edilmiştir.

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	G, HN ^a	,	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: HY

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,970 ^a	,940	,936	,3807

a. Predictors: (Constant), G, HN

b. Dependent Variable: HY

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	77,143	2	38,571	266,200	,000 ^a
	Residual	4,926	34	,145		
	Total	82,069	36			

a. Predictors: (Constant), G, HN

b. Dependent Variable: HY

Şekil 8.18. Bağımlı değişkenin HY olduğu analiz sonuçları

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-4,587	,683		-6,716	,000
	HN	,481	,021	1,198	23,043	,000
	G	8,783E-03	,001	,656	12,607	,000

a. Dependent Variable: HY

Residuals Statistics^a

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	5,3347	10,9369	8,3405	1,4638	37
Residual	-,6338	,6340	7,201E-16	,3699	37
Std. Predicted Value	-2,053	1,774	,000	1,000	37
Std. Residual	-1,665	1,666	,000	,972	37

a. Dependent Variable: HY

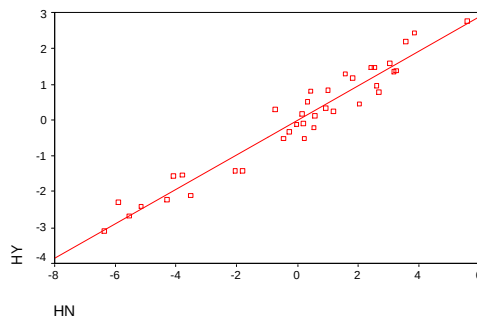
Scatterplot

Dependent Variable: HY



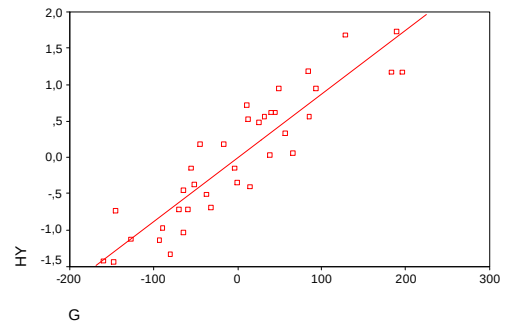
Partial Regression Plot

Dependent Variable: HY



Partial Regression Plot

Dependent Variable: HY



Şekil 8.18.'in devamı

Yukarıda verilmiş çizelgelerden görüldüğü gibi hav yüksekliği değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılabilecek eşitlik aşağıdaki şekildedir.

$$HY = -4,587 + 0,481 \cdot HN + 0,008783 \cdot G \quad (8.3)$$

$$R = 0,970 \quad R^2 = 0,940 \quad R^2_d = 0,936$$

Söz konusu eşitlikte yer alan açıklayıcı değişkenlerin t-testi significant değerleri 0,05'in altında ve modelin F-testi sonucunu gösteren sig. değeri 0,01'in altında gerçekleşmiştir. Ayrıca serpmme grafiklerinden de bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olduğu açıkça görülmektedir.

c) Bağımlı Değişken: Çözgü Sıklığı (CS)

Yine Çizelge 8.1'de verilmiş olan veriler kullanılarak gerçekleştirilen bu analizde ise bağımsız değişken olarak HN, ZN, AN ve G değişkenleri alınmıştır. AS ve HY'nin çözgü sıklığını etkilemediği düşünüldüğünden bu değişkenler analize dahil edilmemiştir. Ayrıca artık analizi de yapılmış ve Şekil 8.19'da verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Variables Entered/Removed^{a,c}

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	G, HN, AN, ZN		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CS

c. Linear Regression through the Origin

Model Summary^{c,d}

Model	R	R Square ^a	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1,000 ^b	,999	,999	1,7389

a. For regression through the origin (the no-intercept model), R Square measures the proportion of the variability in the dependent variable about the origin explained by regression. This CANNOT be compared to R Square for models which include an intercept.

b. Predictors: G, HN, AN, ZN

c. Dependent Variable: CS

d. Linear Regression through the Origin

Şekil 8.19. Bağımlı değişkenin CS olduğu analiz sonuçları

ANOVA^{c,d}

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	110996,0	4	27748,997	9176,808	,000 ^a
	Residual	105,834	35	3,024		
	Total	111101,8 ^b	39			

a. Predictors: G, HN, AN, ZN

b. This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.

c. Dependent Variable: CS

d. Linear Regression through the Origin

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	HN	1,047	,085	,317	12,366	,000
	ZN	,990	,305	,193	3,249	,003
	AN	,688	,138	,185	4,969	,000
	G	2,806E-02	,002	,321	14,158	,000

a. Dependent Variable: CS

b. Linear Regression through the Origin

Residuals Statistics^{a,b}

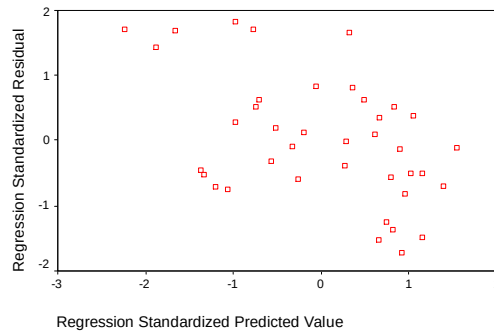
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	47,6391	57,2005	53,2899	2,5309	39
Residual	-3,0054	3,1894	3,834E-02	1,6684	39
Std. Predicted Value	-2,233	1,545	,000	1,000	39
Std. Residual	-1,728	1,834	,022	,959	39

a. Dependent Variable: CS

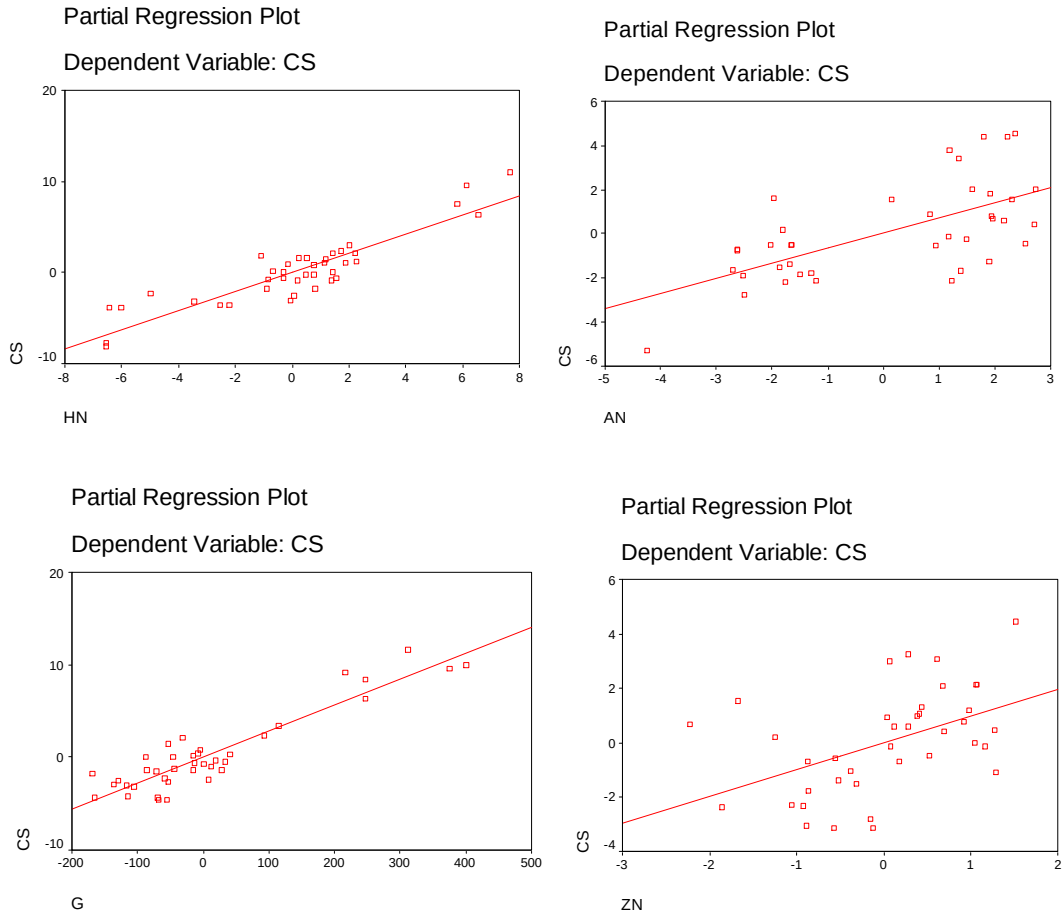
b. Linear Regression through the Origin

Scatterplot

Dependent Variable: CS



Şekil 8.19.'un devamı



Şekil 8.19.'un devamı

Buna göre elde edilen eşitlik;

$$CS=1,047*HN+0,990*ZN+0,688*AN+0,02806*G \quad (8.4)$$

$$R=1,000$$

$$R^2=0,999$$

$$R^2_d=0,999$$

şeklindedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi belirleyicilik katsayısı oldukça yüksek ve tüm anlamlılık düzeyi değerleri istenilen seviyede gerçekleşmiştir. HN ve G değişkenlerinin kısmi regresyon grafiklerinde doğrusal bir ilişki, AN ve ZN değişkenlerinde ise doğrusala yakın bir davranış gözlenmiştir.

d) Bağımlı Değişken: Atkı Sıklığı (AS)

Atkı sıklığının bağımlı değişken olarak kabul edildiği analizde, CS ve HY'nin atkı sıklığını etkilemeyeceği düşünüldüğünden HN, ZN, AN ve G değişkenleri açıklayıcı değişken olarak seçilmiştir. Ancak ilk analiz sonucu HN ve ZN değişkenlerinin t-testi sig. değerleri 0,05'in üstünde gerçekleştiğinden bu değişkenler analizden çıkarılmış, artık analizi yapılmış ve Şekil 8.20'de verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Variables Entered/Removed^{b,c}

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	G, AN ^a	,	Enter

- a. All requested variables entered.
b. Dependent Variable: AS
c. Linear Regression through the Origin

Model Summary^{c,d}

Model	R	R Square ^a	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,997 ^b	,994	,993	3,1055

- a. For regression through the origin (the no-intercept model), R Square measures the proportion of the variability in the dependent variable about the origin explained by regression. This CANNOT be compared to R Square for models which include an intercept.
b. Predictors: G, AN
c. Dependent Variable: AS
d. Linear Regression through the Origin

ANOVA^{c,d}

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	60981,740	2	30490,870	3161,516	,000 ^a
	Residual	395,420	41	9,644		
	Total	61377,160 ^b	43			

- a. Predictors: G, AN
b. This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.
c. Dependent Variable: AS
d. Linear Regression through the Origin

Şekil 8.20. Bağımlı değişkenin AS olduğu analizin ön sonuçları

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	AN	,936	,117	,361	8,029	,000
	G	4,087E-02	,003	,645	14,373	,000

a. Dependent Variable: AS

b. Linear Regression through the Origin

Residuals Statistics^{a,b}

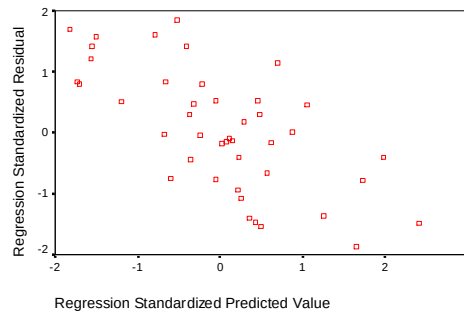
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	31,7444	45,1871	37,5275	3,1778	43
Residual	-5,7708	5,7194	,1701	3,0635	43
Std. Predicted Value	-1,820	2,410	,000	1,000	43
Std. Residual	-1,858	1,842	,055	,986	43

a. Dependent Variable: AS

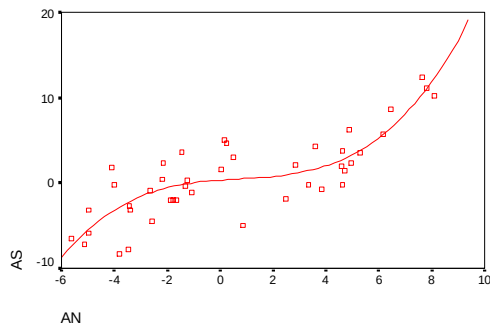
b. Linear Regression through the Origin

Scatterplot

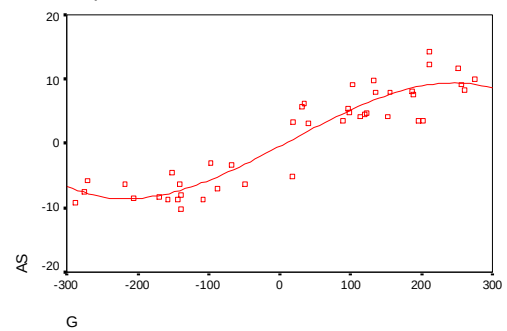
Dependent Variable: AS

**Partial Regression Plot**

Dependent Variable: AS

**Partial Regression Plot**

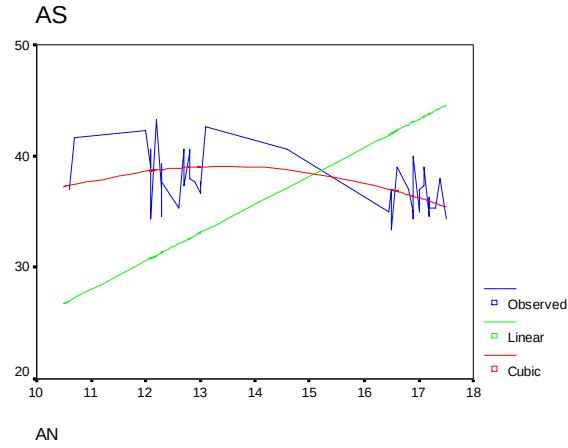
Dependent Variable: AS

**Şekil 8.20.'nin devamı**

Yukarıdaki sonuçlarda ANOVA ve t-testi sonuçlarına göre AN ile AS ve G ile AS arasında doğrusal bir ilişki görülmektedir ve oluşturulan modelin belirleyicilik katsayısı da oldukça yüksektir. Ancak açıklayıcı değişkenlere ait kısmi regresyon serpmme grafiklerine bakıldığında kesinlikle doğrusal bir ilişki olmadığı görülmektedir. Grafiğin üzerine çift tıklandığında sırasıyla “Chart” ve “Options” seçenekleri seçilerek açılan pencerede “Fit line” bölümündeki “Fit options” kısmına girilerek “Cubic regression” seçilip pencere kapatıldığında grafikteki noktaların kübik bir davranış gösterdiği görülmektedir. Aynı durum G ve AN değişkenlerinin her ikisi içinde geçerlidir. Söz konusu grafiklerden anlaşıldığı gibi AN ile AS ve G ile AS arasında doğrusal değil kübik bir ilişki bulunmaktadır.

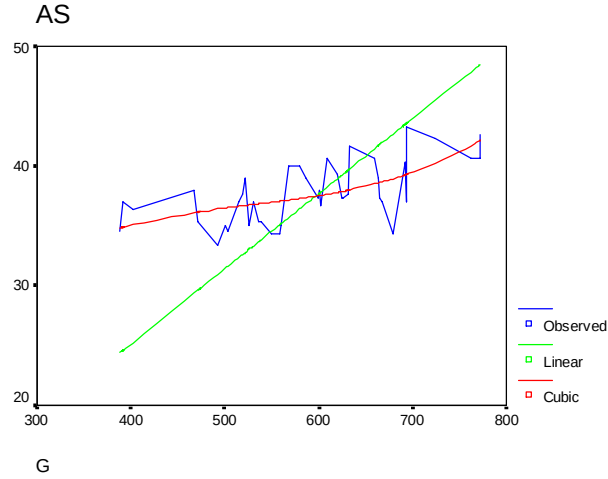
Bu nedenle bu aşamada G ve AN değişkenlerinin AS ile olan ilişkisini matematiksel olarak ifade edebilmek amacıyla daha önce bahsedilmiş olan **“Eğri tahmini (curve estimation)”** işlemi uygulanmış ve kübik birer eşitlik elde edilmiştir. Bu şekilde elde edilen sonuçlardan AS-AN ilişkisi Şekil 8.21’de, AS-G ilişkisi ise Şekil 8.22’de verilmiştir.

Dependent variable.. AS	Method.. CUBIC
Listwise Deletion of Missing Data	
Multiple R	,99822
R Square	,99645
Adjusted R Square	,99628
Standard Error	2,30513
Analysis of Variance:	
	DF Sum of Squares Mean Square
Regression	2 61159,302 30579,651
Residuals	41 217,858 5,314
F =	5754,96372 Signif F = ,0000
----- Variables in the Equation -----	
Variable	B SE B Beta T Sig T
AN	5,821797 ,163884 2,241584 35,524 ,0000
AN**2	-,217071 ,010742 -1,275168 -20,208 ,0000
----- Variables not in the Equation -----	
Variable	Beta In Partial Min Toler T Sig T
AN**3	1,177014 ,197198 2,914E-05 1,272 ,2107



Şekil 8.21. AS-AN ilişkisini veren analiz sonuçları

Dependent variable.. AS		Method.. CUBIC			
Listwise Deletion of Missing Data					
Multiple R	,99866				
R Square	,99733				
Adjusted R Square	,99713				
Standard Error	2,02504				
Analysis of Variance:					
	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	3	61213,128	20404,376		
Residuals	40	164,032	4,101		
F =	4975,70066	Signif F = ,0000			
----- Variables in the Equation -----					
Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
G	,188568	,018344	2,977792	10,279	,0000
G**2	-,000337	6,0681E-05	-3,330699	-5,561	,0000
G**3	2,12238026E-07	4,9580E-08	1,361080	4,281	,0001



Şekil 8.22. AS-G ilişkisini veren analiz sonuçları

Yukarıda verilen sonuçlara göre bağımlı değişkenin AS olduğu ve R^2 değerleri sırasıyla 0,996 ve 0,997 gibi oldukça yüksek değerler olan aşağıdaki iki eşitlik elde edilmiştir.

$$AS = 5,821797 \cdot AN - 0,217071 \cdot AN^2 \quad (8.5)$$

$$R = 0,998 \quad R^2 = 0,996 \quad R^2_d = 0,996$$

$$AS = 0,188568 \cdot G - 0,000337 \cdot G^2 + 2,122 \cdot 10^{-7} \cdot G^3 \quad (8.6)$$

$$R = 0,998 \quad R^2 = 0,997 \quad R^2_d = 0,997$$

Söz konusu eşitliklerdeki tüm değişkenlerin t-testi sig. değerleri 0,05'ten küçük olmuştur. AS ile AN arasındaki ilişkiyi veren denklem kübik bir model olmasına rağmen eşitlikte AN ve AN'nin karesi yer almaktadır. Bu nedenle söz konusu model kuadratik bir yapıya sahip gibi görünmektedir. AN^3 ifadesi, t-sig. değeri 0,05'ten büyük olduğundan ve etkisi ihmal edilebilecek düzeyde olduğundan SPSS paket programı tarafından modele dahil edilmemiştir.

Şekil 8.21 ve 8.22'de verilen grafiklerde de görüldüğü gibi ölçülen değerlerin dağılımı her iki değişken içinde kübik davranışa daha yakındır.

e) Bağımlı Değişken: Atkı Krimpi (KA)

Söz konusu analiz 47 adet numune havlunun deneysel olarak tespit edilen değerleri kullanılarak ve HN, ZN, AN, G ve CS değişkenleri bağımsız değişken olarak seçilerek gerçekleştirilmiştir. Artık analizi ile uç değerlere sahip veriler çıkarılmış, t-testi sonuçlarına göre ise sırasıyla AN, HN ve ZN değişkenleri analiz dışında tutulmuş ve sonuç olarak Şekil 8.23'te verilen çıktı görüntüsü elde edilmiştir.

Variables Entered/Removed^{b,c}

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	CS, G ^a		Enter

- a. All requested variables entered.
b. Dependent Variable: KA
c. Linear Regression through the Origin

Model Summary^{c,d}

Model	R	R Square ^a	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,997 ^b	,995	,995	1,3527

- a. For regression through the origin (the no-intercept model), R Square measures the proportion of the variability in the dependent variable about the origin explained by regression. This CANNOT be compared to R Square for models which include an intercept.
b. Predictors: CS, G
c. Dependent Variable: KA
d. Linear Regression through the Origin

ANOVA^{c,d}

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	12532,916	2	6266,458	3424,454	,000 ^a
	Residual	64,047	35	1,830		
	Total	12596,963 ^b	37			

- a. Predictors: CS, G
b. This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.
c. Dependent Variable: KA
d. Linear Regression through the Origin

Şekil 8.23. Bağımlı değişkenin KA olduğu analiz sonuçları

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	G	-8,17E-03	,002	-,276	-5,030	,000
	CS	,432	,019	1,265	23,022	,000

a. Dependent Variable: KA

b. Linear Regression through the Origin

Residuals Statistics^{a,b}

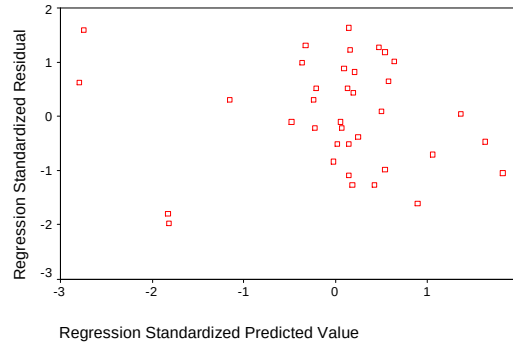
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	13,1455	21,6678	18,3144	1,8447	37
Residual	-2,6710	2,2230	1,400E-02	1,3337	37
Std. Predicted Value	-2,802	1,818	,000	1,000	37
Std. Residual	-1,975	1,643	,010	,986	37

a. Dependent Variable: KA

b. Linear Regression through the Origin

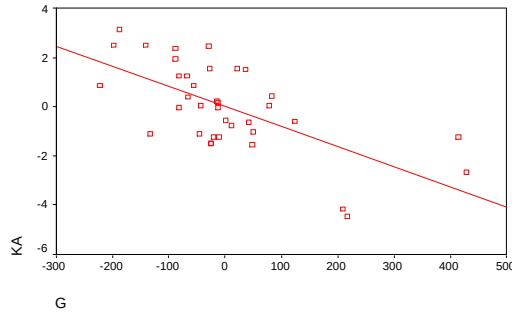
Scatterplot

Dependent Variable: KA



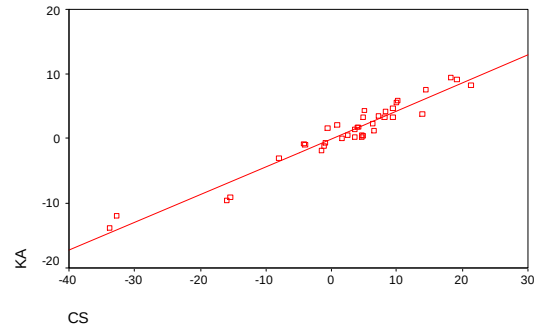
Partial Regression Plot

Dependent Variable: KA



Partial Regression Plot

Dependent Variable: KA



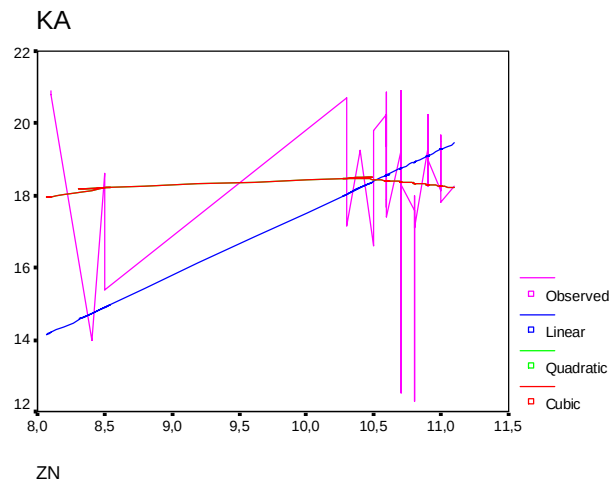
Şekil 8.23.'ün devamı

Buna göre G ve CS değişkenleri kullanılarak KA'nın tahmin edilmesinin yüksek bir güvenilirlikle mümkün olduğu görülmektedir. Bu değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu da t-testi sonuçları ve kısmi regresyon serpmme grafiklerinden açıkça görülmektedir.

Ancak bir tekstil mamulünde atkı krimp oranının zemin ve atkı iplik numaralarından etkilendiği bilinmekte olup yapılan regresyon analiziyle böyle bir etkileşim tespit edilemediğinden söz konusu değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olmadığı söylenebilmektedir. Bu nedenle bu değişkenler ile atkı krimp arasında doğrusal olmayan matematiksel bir bağıntı oluşturulmak amacıyla "model tahmini" işlemi uygulanmıştır. Bunun sonucunda ZN ile KA arasındaki bağıntıyı veren modellerin Şekil 8.24'te görüldüğü gibi olduğu belirlenmiştir. Aynı durum Şekil 8.25'te verilmiş olan AN ile KA arasındaki ilişki içinde söz konusu olmuştur.

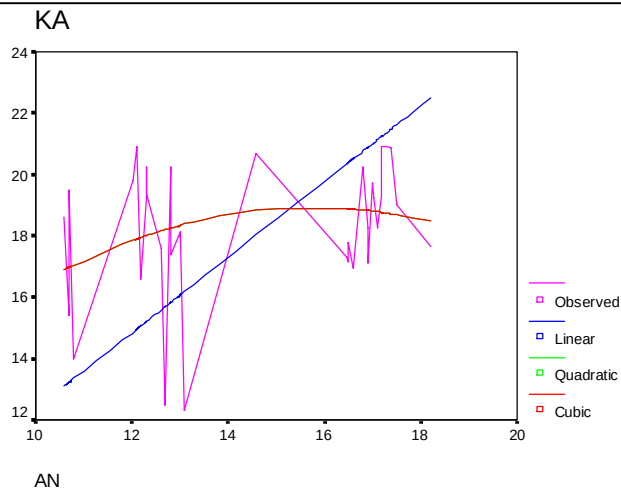
Dependent variable.. KA		Method.. QUADRATI			
Listwise Deletion of Missing Data					
Multiple R	,99327				
R Square	,98659				
Adjusted R Square	,98582				
Standard Error	2,19683				
Analysis of Variance:					
	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	2	12428,051	6214,0253		
Residuals	35	168,912	4,8261		
F = 1287,59983 Signif F = ,0000					
----- Variables in the Equation -----					
Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
ZN	3,781208	,521000	2,137130	7,258	,0000
ZN**2	-,192877	,049416	-1,149341	-3,903	,0004

Dependent variable.. KA		Method.. CUBIC			
Listwise Deletion of Missing Data					
Multiple R	,99327				
R Square	,98659				
Adjusted R Square	,98582				
Standard Error	2,19683				
Analysis of Variance:					
	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	2	12428,051	6214,0253		
Residuals	35	168,912	4,8261		
F = 1287,59983		Signif F = ,0000			
----- Variables in the Equation -----					
Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
ZN	3,781208	,521000	2,137130	7,258	,0000
ZN**2	-,192877	,049416	-1,149341	-3,903	,0004
----- Variables not in the Equation -----					
Variable	Beta In	Partial	Min Toler	T	Sig T
ZN**3	2,784081	,097811	5,050E-06	,573	,5704



Şekil 8.24. KA-ZN ilişkisini veren analiz sonuçları

Dependent variable.. KA		Method.. QUADRATI			
Listwise Deletion of Missing Data					
Multiple R	,99351				
R Square	,98707				
Adjusted R Square	,98633				
Standard Error	2,15761				
Analysis of Variance:					
	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	2	12434,027	6217,0137		
Residuals	35	162,935	4,6553		
F =	1335,47265	Signif F = ,0000			
----- Variables in the Equation -----					
Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
AN	2,400503	,159407	1,910019	15,059	,0000
AN**2	-,076133	,010300	-,937553	-7,392	,0000
Dependent variable.. KA					
		Method.. CUBIC			
Listwise Deletion of Missing Data					
Multiple R	,99351				
R Square	,98707				
Adjusted R Square	,98633				
Standard Error	2,15761				
Analysis of Variance:					
	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	2	12434,027	6217,0137		
Residuals	35	162,935	4,6553		
F =	1335,47265	Signif F = ,0000			
----- Variables in the Equation -----					
Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
AN	2,400503	,159407	1,910019	15,059	,0000
AN**2	-,076133	,010300	-,937553	-7,392	,0000
----- Variables not in the Equation -----					
Variable	Beta In	Partial	Min Toler	T	Sig T
AN**3	1,408885	,163055	5,266E-05	,964	,3420



Şekil 8.25. KA-AN ilişkisini veren analiz sonuçları

Şekil 8.23, 8.24 ve 8.25 birlikte değerlendirilerek KA'nın bağımlı değişken olduğu aşağıdaki eşitlikler elde edilmiştir.

$$KA = -0,00817 \cdot G + 0,432 \cdot CS \quad (8.7)$$

$$R = 0,997 \quad R^2 = 0,995 \quad R^2_d = 0,995$$

$$KA = 3,781208 \cdot ZN - 0,192877 \cdot ZN^2 \quad (8.8)$$

$$R = 0,993 \quad R^2 = 0,986 \quad R^2_d = 0,985$$

$$KA = 2,400503 \cdot AN - 0,076133 \cdot AN^2 \quad (8.9)$$

$$R = 0,993 \quad R^2 = 0,987 \quad R^2_d = 0,986$$

Yukarıdaki eşitliklerden çalışma kapsamında kurulacak optimizasyon modellerinde kısıt olarak kullanılacak olan seçilirken korelasyon analizi sonuçları esas alınacaktır.

f) Bağımlı Değişken: Zemin Çözümlü Krimpi (KZ)

Açıklayıcı değişken olarak G, AS, ZN ve AN'nin alındığı, zemin krimpi oranını etkilemeyeceği düşünüldüğünden HN, CS ve HY'nin model dışı tutulduğu bu analizde de artık analizi yapılmış ve t-testi sonuçlarına göre "sabit" ve G değişkeni çıkarılmıştır. Buna göre Şekil 8.26'da verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Variables Entered/Removed^{b,c}

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	AN, AS, ZN ^a	,	Enter

- a. All requested variables entered.
b. Dependent Variable: KZ
c. Linear Regression through the Origin

Model Summary^{c,d}

Model	R	R Square ^a	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,991 ^b	,981	,980	1,7228

- a. For regression through the origin (the no-intercept model), R Square measures the proportion of the variability in the dependent variable about the origin explained by regression. This CANNOT be compared to R Square for models which include an intercept.
b. Predictors: AN, AS, ZN
c. Dependent Variable: KZ
d. Linear Regression through the Origin

ANOVA^{c,d}

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5816,451	3	1938,817	653,266	,000 ^a
	Residual	109,812	37	2,968		
	Total	5926,262 ^b	40			

- a. Predictors: AN, AS, ZN
b. This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.
c. Dependent Variable: KZ
d. Linear Regression through the Origin

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	AS	,386	,061	1,200	6,325	,000
	ZN	,748	,313	,640	2,388	,022
	AN	-,729	,134	-,872	-5,444	,000

- a. Dependent Variable: KZ
b. Linear Regression through the Origin

Şekil 8.26. Bağımlı değişkenin KZ olduğu analiz sonuçları

Residuals Statistics^{a,b}

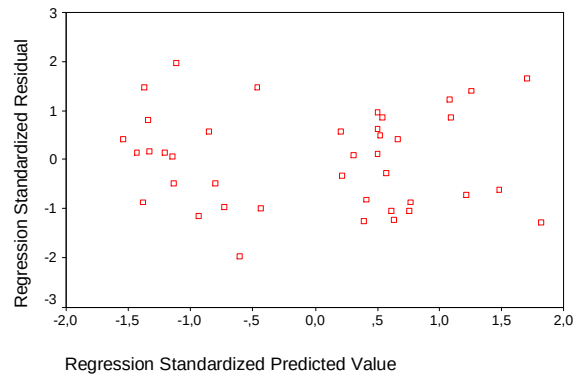
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	8,6514	15,6932	11,8801	2,0938	40
Residual	-3,4095	3,4124	1,115E-02	1,6780	40
Std. Predicted Value	-1,542	1,821	,000	1,000	40
Std. Residual	-1,979	1,981	,006	,974	40

a. Dependent Variable: KZ

b. Linear Regression through the Origin

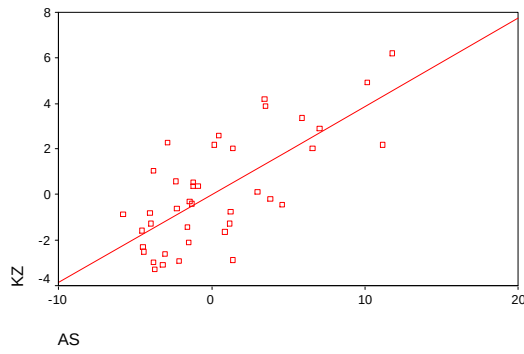
Scatterplot

Dependent Variable: KZ



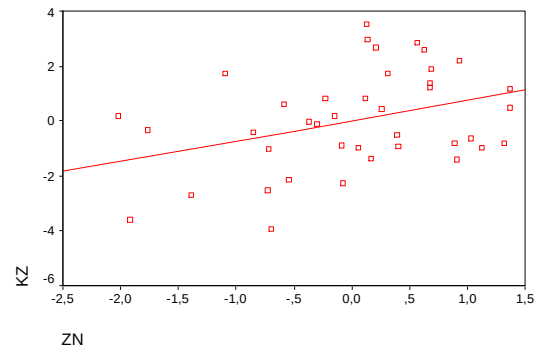
Partial Regression Plot

Dependent Variable: KZ

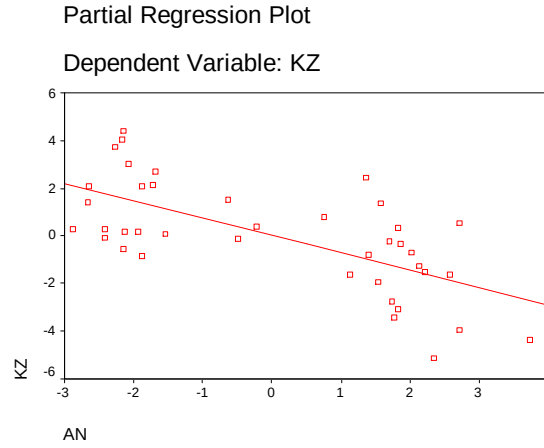


Partial Regression Plot

Dependent Variable: KZ



Şekil 8.26.'nın devamı



Şekil 8.26.'nın devamı

Bu sonuçlara göre;

$$KZ=0,386*AS+0,748*ZN-0,729*AN \quad (8.10)$$

$$R=0,991$$

$$R^2=0,981$$

$$R^2_d=0,980$$

eşitliği kullanılarak zemin çözgü krimp tahmin edilebilmektedir. Analiz sonucu elde edilen kısmi regresyon serpm grafiklerine göre AS ile KZ arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur. Ancak ZN ve AN ile KZ arasındaki ilişkiyi veren serpm grafikleri ayrı ayrı irdelendiğinde tam olarak doğrusal bir ilişki gözlenmemiştir. Fakat noktaların dağılımını eğri veya doğru ile destekleme amacıyla uygulanan “Fit line” işleminde kübik ve kuadratik eğrilerin dağılıma uygun olup olmadığı kontrol edilmiş ve bu regresyon tiplerinin seçilmesi sonrasında da yine doğrusala yakın bir eğri oluşmuştur. Bu nedenle zemin çözgü numarası ve atkı iplik numarasıyla zemin çözgü krimp arasında doğrusala yakın bir ilişki olduğu kabul edilmiştir.

g) Bağımlı Değişken: Hav Çözgü Numarası (HN)

Havlu kumaş üretiminde bazı fiziksel özelliklerin bilinen/istenen bazı özelliklerden yola çıkılarak üretim öncesi tahmin edilmesi zaman ve maliyet açısından kazanç sağlamaktadır. Örneğin sıklıkların, krimp değerlerinin, gramaj veya hav yüksekliğinin önceden tahmin edilmesi, bu özelliklerin alacağı değerleri belirlemek amacıyla yapılacak denemeleri gereksiz hale getirmektedir.

Ancak işletmelerde genellikle atkı, zemin ve hav çözgü ipliklerinin numarası dar bir aralıkta değişim gösterdiğinden söz konusu özellikler için eşitlikler yardımıyla tespit edilen tahmini değerlerin pratikte uygulanabilir olması her zaman pek mümkün olamayabilmektedir. Bu nedenle iplik numaralarının bağımlı değişken olarak seçilmesi ile gerçekleştirilen analizler sonucu elde edilen eşitlikler, tahminleme amaçlı kullanılmaktan ziyade oluşturulacak optimizasyon modellerinde kısıt olarak kullanılacaktır.

Bu nedenle iplik numaralarının bağımlı değişken olarak seçildiği analizlerin sonuçları çıktı görüntüsü şeklinde verilmeyip sadece analiz sonucu oluşturulan eşitlikler verilmiştir.

Buna göre krimpeler hariç tüm değişkenler açıklayıcı, hav numarası ise bağımlı değişken olarak seçilerek başlanan bu analizde t-testi sonucu ZN değişkeni, artık analizi ile ise uç değerler çıkarılmış ve aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{HN} &= 16,398 - 0,264 * \text{AN} - 0,0204 * \text{G} - 0,233 * \text{AS} + 0,283 * \text{CS} + 1,11 * \text{HY} & (8.11) \\ R &= 0,987 & R^2 &= 0,974 & R^2_d &= 0,970 \end{aligned}$$

h) Bağımlı Değişken: Zemin Çözgü Numarası (ZN)

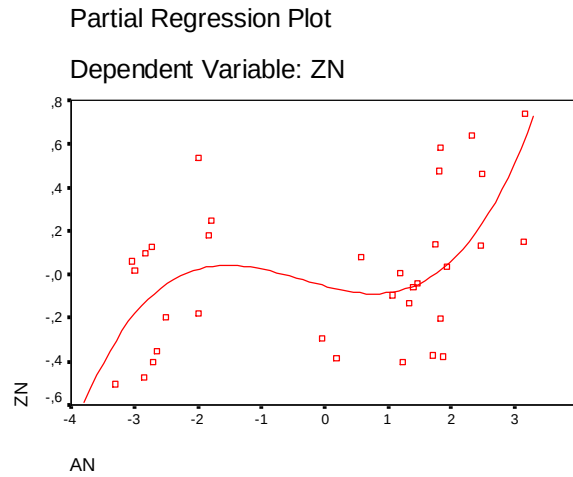
Krimpeler hariç tüm değişkenler açıklayıcı değişken olarak alınarak analize başlanmış, t-testi sonuçlarına göre sırasıyla AS, HN, HY ve sabit analizden çıkarılmış ve artık analizi yapılmıştır. Ancak t-testi sig. değeri 0,05'ten küçük olmasına rağmen kısmi regresyon serpmesi grafiği kübik davranış gösterdiğinden (Şekil 8.27) AN değişkeni de ayrı olarak değerlendirilmek üzere regresyondan çıkarılmış ve "eğri tahmini" işlemi uygulanarak AN ile ZN arasında kübik bir bağıntı oluşturulmuştur. Buna göre regresyon analizi ve eğri tahmini işlemleri sonucu ZN'nin bağımlı değişken olduğu aşağıdaki eşitlikler elde edilmiştir.

$$\text{ZN} = -0,00274 * \text{G} + 0,227 * \text{CS} \quad (8.12)$$

$$R = 1,000 \quad R^2 = 0,999 \quad R^2_d = 0,999$$

$$\text{ZN} = 1,074517 * \text{AN} - 0,001522 * \text{AN}^3 \quad (8.13)$$

$$R = 0,999 \quad R^2 = 0,998 \quad R^2_d = 0,998$$



Şekil 8.27 AN ile ZN arasında oluşturulan kısmi regresyon serpmme grafiği

ı) Bağımlı Değişken: Atkı Numarası (AN)

Yine krimpeler hariç tüm değişkenlerin açıklayıcı değişken olarak seçildiği bu analizde ise t-testi sonucu elde edilen sig. değerlerine göre sırasıyla sabit, HY ve AS değişkenleri analizden çıkarılmış ve aşağıda verilen eşitlik elde edilmiştir.

$$AN = -0,371 \cdot HN + 1,054 \cdot ZN - 0,01377 \cdot G + 0,325 \cdot CS \quad (8.14)$$

$$R = 0,993$$

$$R^2 = 0,985$$

$$R^2_d = 0,984$$

8.5.2. Performans Özelliklerinin Regresyon Analizi Sonuçları

Bu bölümde seçilmiş performans özelliklerinin, bilinen bazı fiziksel özellikler yardımıyla üretim öncesi tahmin edilmesi amacıyla kullanılacak eşitliklerin oluşturulması için uygulanan regresyon analizi sonuçları özetlenmiştir.

a) Bağımlı Değişken: Atkı Kopma Mukavemeti (Akop)

Bu analizde, atkı kopma mukavemetini etkilediği düşünülen AN, AS, G ve KA büyüklükleri açıklayıcı değişken olarak seçilerek analize başlanmıştır. Diğer büyüklükler çözgü doğrultusunda olduğundan Akop değerini doğrudan etkilememektedir ve bu nedenle analize dahil edilmemiştir. Seçilen açıklayıcı

değişkenlerden KA ve G ile “sabit” t-testi sonuçlarına göre çıkarılmış ve Şekil 8.28’de verilen çıktı görüntüsü elde edilmiştir.

Variables Entered/Removed^{b,c}

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	AN, AS ^a	,	Enter

- a. All requested variables entered.
b. Dependent Variable: AKOP
c. Linear Regression through the Origin

Model Summary^{c,d}

Model	R	R Square ^a	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,997 ^b	,994	,994	36,9618

- a. For regression through the origin (the no-intercept model), R Square measures the proportion of the variability in the dependent variable about the origin explained by regression. This CANNOT be compared to R Square for models which include an intercept.
b. Predictors: AN, AS
c. Dependent Variable: AKOP
d. Linear Regression through the Origin

ANOVA^{c,d}

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5253533	2	2626766,451	1922,713	,000 ^a
	Residual	31422,076	23	1366,177		
	Total	5284955 ^b	25			

- a. Predictors: AN, AS
b. This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.
c. Dependent Variable: AKOP
d. Linear Regression through the Origin

Şekil 8.28. Bağımlı değişkenin Akop olduğu analiz sonuçları

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	AS	24,307	1,284	1,967	18,924	,000
	AN	-30,569	3,197	-,994	-9,562	,000

a. Dependent Variable: AKOP

b. Linear Regression through the Origin

Residuals Statistics^{a,b}

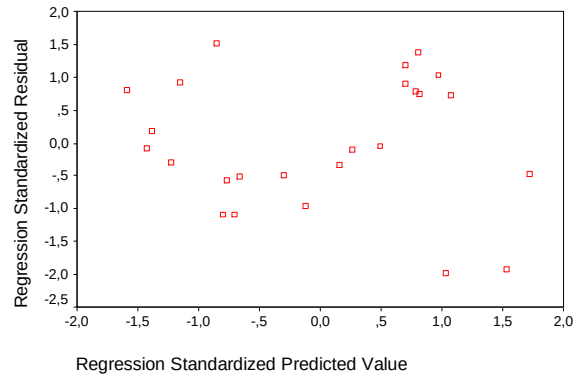
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	317,1154	595,5841	450,9497	84,0741	25
Residual	-73,3673	56,3779	,2919	36,1824	25
Std. Predicted Value	-1,592	1,720	,000	1,000	25
Std. Residual	-1,985	1,525	,008	,979	25

a. Dependent Variable: AKOP

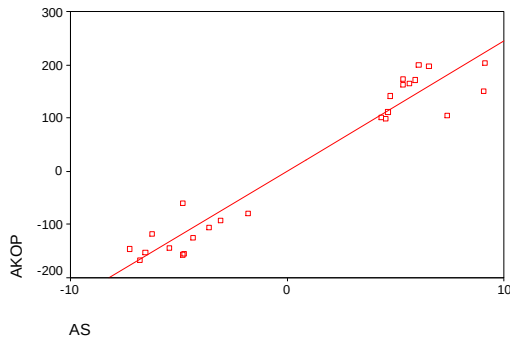
b. Linear Regression through the Origin

Scatterplot

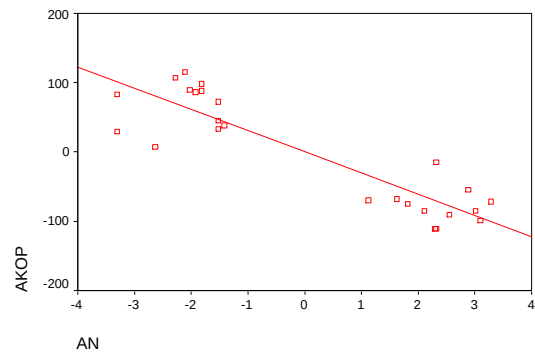
Dependent Variable: AKOP

**Partial Regression Plot**

Dependent Variable: AKOP

**Partial Regression Plot**

Dependent Variable: AKOP

**Şekil 8.28.'in devamı**

Şekilde verilen “coefficients” başlıklı çizelgeye göre Akop değerinin tahmin edilmesinde aşağıdaki eşitlik kullanılabilir.

$$A_{kop}=24,307 \cdot A_S - 30,569 \cdot A_N \quad (8.15)$$

$$R=0,997$$

$$R^2=0,994$$

$$R^2_d=0,994$$

Yapılan analiz sonucu modelin geçerliliğinin ve t-testi sonucu açıklayıcı ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkilerin anlamlılığının oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkenle ayrı ayrı oluşturduğu kısmi regresyon serpmeye grafikleri bu değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir.

b) Bağımlı Değişken: Çözümlü Kopma Mukavemeti (Ckop)

Tekstil mamullerinin çözgü kopma mukavemetinin üretim öncesi tahmin edilebilmesinde kullanılacak eşitliği oluşturmak amacıyla uygulanacak analizde ZN, G, CS ve KZ değişkenleri bağımsız değişken olarak seçilmiştir. Ancak t-testi sonuçları göz önüne alınarak KZ, G ve “sabit” analizden sırasıyla çıkarılmış ve artık analizi sonucu Şekil 8.29’da verilen çıktı görüntüsü elde edilmiştir.

Variables Entered/Removed^{b,c}

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	CS, ZN ^a		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CKOP

Model Summary^{c,d}

Model	R	R Square ^a	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,999 ^b	,998	,997	19,9041

a. For regression through the origin (the no-intercept model), R Square measures the proportion of the variability in the dependent variable about the origin explained by regression. This CANNOT be compared to R Square for models which include an intercept.

b. Predictors: CS, ZN

c. Dependent Variable: CKOP

Şekil 8.29. Bağımlı değişkenin Ckop olduğu analiz sonuçları

ANOVA^{c,d}

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3521323	2	1760661,384	4444,161	,000 ^a
	Residual	8319,656	21	396,174		
	Total	3529642 ^b	23			

a. Predictors: CS, ZN

b. This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.

c. Dependent Variable: CKOP

d. Linear Regression through the Origin

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	ZN	17,246	4,119	,462	4,187	,000
	CS	3,752	,771	,537	4,865	,000

a. Dependent Variable: CKOP

b. Linear Regression through the Origin

Residuals Statistics^{a,b}

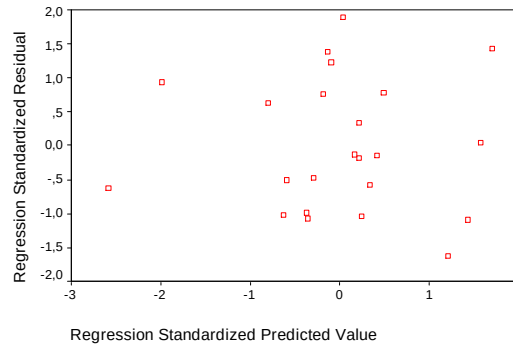
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	342,2826	422,8358	390,8505	18,7675	23
Residual	-32,1239	37,8996	1,780E-02	19,4465	23
Std. Predicted Value	-2,588	1,704	,000	1,000	23
Std. Residual	-1,614	1,904	,001	,977	23

a. Dependent Variable: CKOP

b. Linear Regression through the Origin

Scatterplot

Dependent Variable: CKOP



Şekil 8.29.'un devamı



Şekil 8.29.'un devamı

Yukarıdaki sonuçlara göre Ckop değerini yüksek güvenilirlikle tahmin edebilmek için ZN ve CS değerlerinin bilinmesi ve aşağıdaki eşitliğin kullanılması yeterli olmaktadır.

$$Ckop = 17,246 * ZN + 3,752 * CS \quad (8.16)$$

$$R = 0,999$$

$$R^2 = 0,998$$

$$R^2_d = 0,997$$

Bunun yanı sıra kısmi regresyon serpmme grafiklerinden de ZN ile Ckop ve CS ile Ckop arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir.

c) Bağımlı Değişken: Yumuşaklık Derecesi (Y)

Krimpler hariç tüm değişkenlerin (fiziksel özellikler) açıklayıcı değişken olarak alındığı bu analizde sonuçlara bağlı olarak sırasıyla HN, AN, CS, AS ve sabit analizden çıkarılmış ve artık analizi sonuçları da göz önünde bulundurularak Şekil 8.30'da verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Variables Entered/Removed^{b,c}

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HY, ZN, G ^a		Enter

- a. All requested variables entered.
b. Dependent Variable: YUM
c. Linear Regression through the Origin

Model Summary^{c,d}

Model	R	R Square ^a	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,995 ^b	,990	,989	,3773

- a. For regression through the origin (the no-intercept model), R Square measures the proportion of the variability in the dependent variable about the origin explained by regression. This CANNOT be compared to R Square for models which include an intercept.
b. Predictors: HY, ZN, G
c. Dependent Variable: YUM
d. Linear Regression through the Origin

ANOVA^{c,d}

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	449,499	3	149,833	1052,483	,000 ^a
	Residual	4,556	32	,142		
	Total	454,055 ^b	35			

- a. Predictors: HY, ZN, G
b. This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.
c. Dependent Variable: YUM
d. Linear Regression through the Origin

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	ZN	-,530	,036	-,1564	-14,651	,000
	G	1,856E-02	,001	3,052	25,692	,000
	HY	-,256	,048	-,587	-5,307	,000

- a. Dependent Variable: YUM
b. Linear Regression through the Origin

Şekil 8.30. Bağımlı değişkenin Y olduğu analiz sonuçları

Residuals Statistics^{a,b}

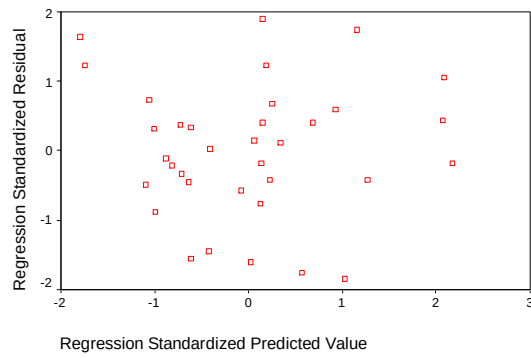
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	8,302E-02	6,8902	3,1602	1,7147	35
Residual	-,6947	,7168	9,633E-04	,3660	35
Std. Predicted Value	-1,795	2,175	,000	1,000	35
Std. Residual	-1,841	1,900	,003	,970	35

a. Dependent Variable: YUM

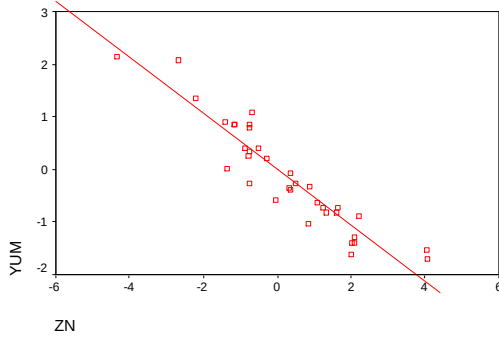
b. Linear Regression through the Origin

Scatterplot

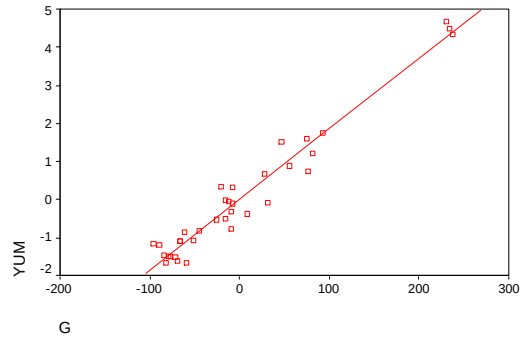
Dependent Variable: YUM

**Partial Regression Plot**

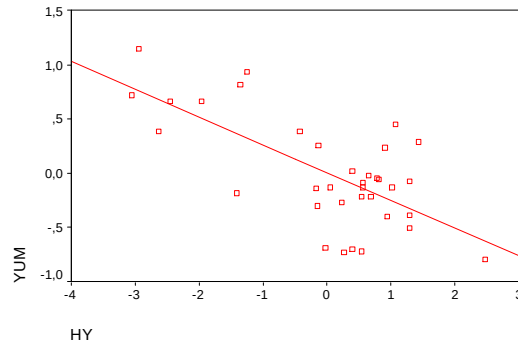
Dependent Variable: YUM

**Partial Regression Plot**

Dependent Variable: YUM

**Partial Regression Plot**

Dependent Variable: YUM

**Şekil 8.30.'un devamı**

Buna göre;

$$Y = -0,530 \cdot ZN + 0,01856 \cdot G - 0,256 \cdot HY \quad (8.17)$$

$$R = 0,995$$

$$R^2 = 0,990$$

$$R^2_d = 0,989$$

eşitliği kullanılarak yumuşaklık derecesinin tahmini mümkün olabilmektedir. Kısmi regresyon serpmme grafikleri incelendiğinde bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasında ayrı ayrı doğrusal ilişkiler olduğu görülmektedir.

d) Bağımlı Değişken: Hidrofilite Derecesi-Batma Süresi (H)

Açıklayıcı değişken olarak krimpeler hariç tüm fiziksel özellikler alınarak yapılan analizde sırasıyla sabit, ZN, AN ve HY değişkenlerinin çıkarılması gerekmiş ve yapılan artık analizi sonucu Şekil 8.31’de verilen çıktı görüntüsü elde edilmiştir.

Variables Entered/Removed^{b,c}

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	CS _a , G, HN, AS _a	,	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: HIDRO

c. Linear Regression through the Origin

Model Summary^{c,d}

Model	R	R Square ^a	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,925 ^b	,855	,834	27,2679

a. For regression through the origin (the no-intercept model), R Square measures the proportion of the variability in the dependent variable about the origin explained by regression. This CANNOT be compared to R Square for models which include an intercept.

b. Predictors: CS, G, HN, AS

c. Dependent Variable: HIDRO

d. Linear Regression through the Origin

Şekil 8.31. Bağımlı değişkenin H olduğu analiz sonuçları

ANOVA^{c,d}

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	118655,4	4	29663,857	39,896	,000 ^a
	Residual	20075,464	27	743,536		
	Total	138730,9 ^b	31			

a. Predictors: CS, G, HN, AS

b. This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.

c. Dependent Variable: HIDRO

d. Linear Regression through the Origin

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	HN	-6,957	3,004	-1,785	-2,316	,028
	G	-,451	,080	-3,952	-5,643	,000
	AS	6,954	2,370	3,855	2,935	,007
	CS	3,259	1,567	2,673	2,080	,047

a. Dependent Variable: HIDRO

b. Linear Regression through the Origin

Residuals Statistics^{a,b}

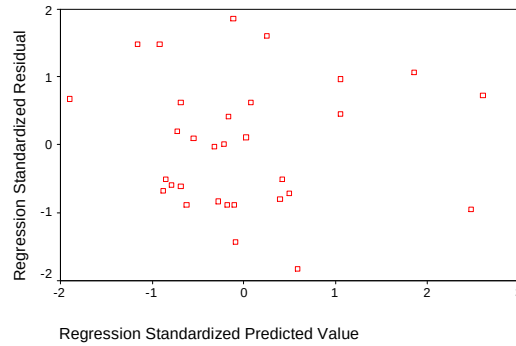
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	3,2344	127,2196	55,6287	27,5222	31
Residual	-50,0583	50,8716	,2713	25,8671	31
Std. Predicted Value	-1,904	2,601	,000	1,000	31
Std. Residual	-1,836	1,866	,010	,949	31

a. Dependent Variable: HIDRO

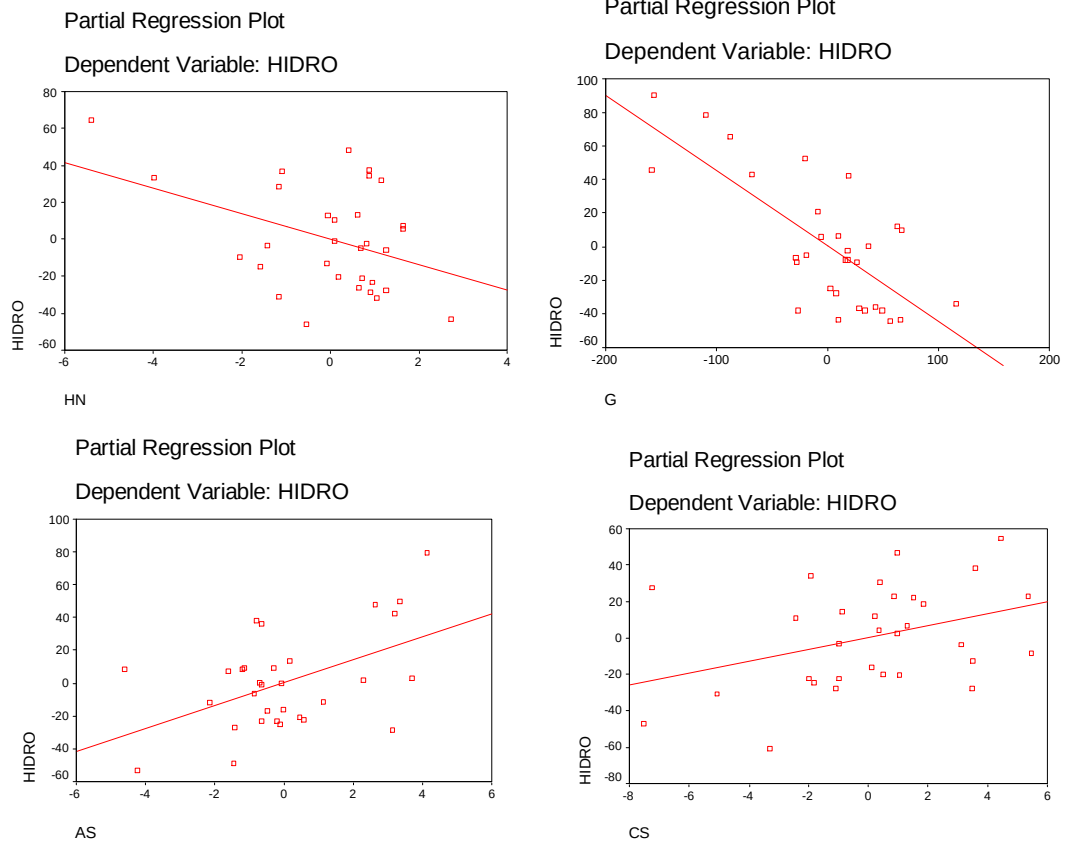
b. Linear Regression through the Origin

Scatterplot

Dependent Variable: HIDRO



Şekil 8.31.'in devamı



Şekil 8.31.'in devamı

Şekilde görülen sonuçlardan H değişkenine ait eşitliğin aşağıda verildiği gibi olduğu görülmektedir.

$$H = -6,957 \cdot HN - 0,451 \cdot G + 6,954 \cdot AS + 3,259 \cdot CS \quad (8.18)$$

$$R = 0,925$$

$$R^2 = 0,855$$

$$R_d^2 = 0,834$$

Standart hatalar ve tahmin edilen değerler arasında oluşturulan serpmme grafiği modelin doğrusal bir davranış gösterdiğini ifade etmektedir. Ancak AS ve CS değişkenlerinin bağımlı değişken ile arasındaki ilişkiyi veren kısmi regresyon serpmme grafiklerinde doğrusal ilişkinin çok güçlü olmadığı görülmektedir. Fakat diğer regresyon tipleri denendiğinde de oluşan eğriler doğrusala oldukça yakın olduğundan bu ilişkiler doğrusal kabul edilmiştir.

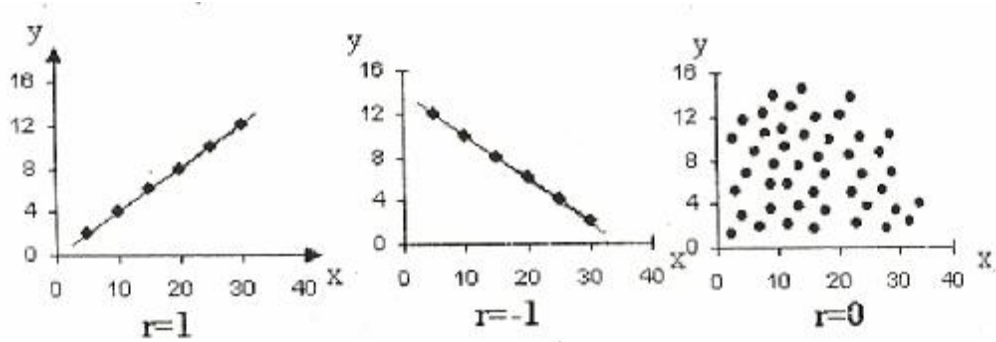
Ayrıca hidrofilite derecesini temsil eden batma sürelerinin deney sonuçlarına bakıldığında aynı numuneye ait alt numunelerin batma sürelerinin bile farklılık gösterebildiği bu nedenle doğrusallıktan bir miktar uzaklaşmanın normal olabileceği düşünülmektedir.

8.6. Korelasyon Analizinin Uygulanışı ve Sonuçların Genel Yorumu

Değişkenler arasında ilişki olup olmadığını, bir ilişki tespit edildiğinde, bunun yönünü ve gücünü belirlemek amacıyla uygulanan istatistiksel analiz “**korelasyon analizi**” olarak ifade edilmektedir. Korelasyon analizinde, değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olan kısmı ölçülmeye çalışılır. Eğer değişkenler arasındaki ilişki doğrusal değilse bu ilişkinin şekli korelasyon analizi ile saptanamamaktadır.

Bu analiz sonucunda hesaplanan “**korelasyon katsayısı**” “r” harfi ile ifade edilmekte ve -1 ile +1 arasında ($-1 \leq r \leq 1$) bir değer alabilmektedir. İki den fazla değişken arasındaki ilişki ise “R” harfi ile gösterilmektedir. Burada değişkenler arasındaki ilişkinin düzeyini rakamların mutlak büyüklüğü, yönünü ise rakamların işareti (pozitif veya negatif olması) belirlemektedir. Katsayının +1 olması ($r=1$) iki değişken arasında tam bir pozitif doğrusal ilişki olduğunu, $r=-1$ olması ise iki değişken arasında tam bir negatif doğrusal ilişki olduğunu ifade etmektedir. Katsayının sıfır olması ($r=0$) ise iki değişken arasında açık, görülebilir bir doğrusal ilişkinin olmadığı anlamına gelmektedir.

$r>0$ olması bir değişkene ilişkin verilerin artması durumunda diğerinin de artması veya bir değişkene ait verilerin azalması halinde diğerinin de azalması şeklinde yorumlanırken, $r<0$ olması durumunda ise bir değişkenin değerlerinin artmasının diğerini azaltacağı anlaşılmaktadır. Şekil 8.32’de değişkenler arasındaki ilişkilerin farklı gösterimleri verilmiştir.



Şekil 8.32. Değişkenler arasındaki olası ilişki şekilleri (Ural ve Kılıç, 2005)

Değişkenler arasındaki ilişkinin düzeyi, korelasyon katsayısının 0-0,25 arasında olması durumunda çok zayıf, 0,26-0,49 arasında zayıf, 0,50-0,69 arasında olması halinde orta, 0,70-0,89 arasında kuvvetli ve 0,90-1,00 arasında olması durumunda ise çok kuvvetli şeklinde yorumlanmaktadır. Ancak bu aralıklarla ilgili kesin sınırlar olmamakla birlikte literatürde farklı sınıflandırmalarda yapılmaktadır (Ural ve Kılıç, 2005).

İstatistikte çeşitli şekillerde korelasyon hesaplaması yapılabilmekte olup “Pearson”, “Kendall’s tau-b” ve “Spearman” korelasyon hesaplamaları en yaygın kullanılanlardır. Ancak eğer veriler parametrik test koşulunu sağlıyorsa “pearson korelasyonu” tercih edilmekte, aksi durumda diğer yöntemler kullanılmaktadır (Yazıcıoğlu ve Erdoğan, 2004).

SPSS istatistiksel paket programı yardımıyla korelasyon analizi yapılırken veriler girildikten sonra sırasıyla aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmektedir.

1. “ANALYZE” menüsünde “CORRELATE” ve “BIVARIATE” komutları seçilir.
2. Açılan pencerede sol taraftaki diyalog kutusundaki değişkenler “Variables” kısmına aktarılır.
3. Değişkenlerin sürekli olması ve normal dağılım göstermeleri durumunda “Pearson” seçeneği işaretlenir.
4. “Test of significance” kısmında, değişkenler arasındaki ilişkinin yönünün daha önce bilinmesi halinde “one-tailed”, bilinmemesi durumunda “two-tailed” seçeneği işaretlenir.

5. Eğer “Flag significant correlations” seçeneği işaretlenirse, değişkenler arasındaki ilişkinin anlamlı bulunması durumunda yıldız (*) işareti/işaretleri (0,01 anlamlılık düzeyinde iki yıldız, 0,05 anlamlılık düzeyinde tek yıldız) ile belirtilir.
6. “OK” tuşuna basılarak analiz sonlandırılır.

Çizelge 8.6’da örnek bir korelasyon analizi sonucu görülmektedir. Burada “**pearson correlation**” ifadesi korelasyon katsayısını, “**Sig.(2-tailed)**” ifadesi iki yönlü analizde anlamlılık düzeyini ve “**N**” değeri ise analize tabi tutulan veri sayısını ifade etmektedir.

Çizelge 8.6. Örnek bir korelasyon analizi sonucu

Correlations			
		ÖLCÜLEN	HESAP
ÖLCÜLEN	Pearson Correlation	1,000	,747**
	Sig. (2-tailed)	,	,000
	N	40	40
HESAP	Pearson Correlation	,747**	1,000
	Sig. (2-tailed)	,000	,
	N	40	40

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Burada değişkenlere ait veriler arasındaki uyumu ifade eden korelasyon katsayısının mutlak değer olarak mümkün olduğunca 1’e yakın olması, anlamlılık düzeyinin %99 güvenilirlik için 0,01’den, %95 güvenilirlik düzeyi için ise 0,05’ten küçük olması istenmektedir.

8.7. Geliştirilen Eşitliklerin Korelasyon Analizi Sonuçları

8.7.1. Regresyon Analizinde Kullanılan Verilerle Yapılan Analiz Sonuçları

Çalışma kapsamında tüm fiziksel büyüklükler ve performans özellikleri için bir önceki bölümde verilen eşitlikler oluşturulmuş ve bu denklemler kullanılarak “hesaplanan bağımlı değişken değerleri” belirlenmiş, ardından ölçülen gerçek değerler ile hesaplanan değerler arasındaki korelasyon tüm değişkenler için ayrı ayrı

analiz edilmiştir. Ancak bu analizde deneysel çalışmada numune olarak kullanılan havluların tümüne ait veriler esas alınmıştır. Eşitliklerin oluşturulması esnasında uygulanan artık analizi ile analiz dışı tutulan verilerde bu değerlendirmeye katılmıştır.

Ayrıca bazı değişkenler için birden fazla eşitlik oluşturulmuş olup bunların arasından geçerliliği en yüksek olanı seçmek amacıyla da korelasyon analizi sonuçları kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında bağımlı değişken olarak kabul edilmiş olan değişkenler için oluşturulan bütün eşitliklerin korelasyon analizi sonuçları bir çizelge halinde toplu olarak aşağıda özetlenmiştir (Çizelge 8.7).

Çizelge 8.7. Korelasyon analizi sonuçları (deneysel çalışma verileriyle)

	Değişken	Korelasyon Katsayısı	Anlamlılık Düzeyi (Sig. değeri)	Eşitlik Numarası
Fiziksel Özellikler	Gramaj	0,892**	0,000	8.2
	Hav yüksekliği	0,893**	0,000	8.3
	Çözümlü sıklığı	0,675**	0,000	8.4
	Atkı sıklığı	0,344*	0,018	8.5
		0,580**	0,000	8.6
	Atkı krimp	0,557**	0,000	8.7
		0,310*	0,038	8.8
		0,171	0,251	8.9
	Zemin çözümü krimp	0,431**	0,003	8.10
	Hav çözümü iplik num.	0,955**	0,000	8.11
	Zemin çözümü iplik numarası	0,293*	0,045	8.12
		0,588**	0,000	8.13
	Atkı iplik numarası	0,663**	0,000	8.14
Performans Özellikleri	Atkı kopma mukavemeti	0,743**	0,000	8.15
	Çözümü kop. mukavemeti	0,391*	0,033	8.16
	Yumuşaklık	0,948**	0,000	8.17
	Hidrofilite	0,500**	0,001	8.18

* : %95 güvenilirlikte anlamlı bir ilişki mevcuttur.

** : %99 güvenilirlikte anlamlı bir ilişki mevcuttur.

Çizelgede görüldüğü gibi gramaj, hav yüksekliği, çözümü sıklığı, zemin çözümü krimp, hav çözümü numarası, atkı iplik numarası, atkı kopma mukavemeti, yumuşaklık ve hidrofilite değişkenlerine ait eşitliklerin korelasyon analizi sonuçları

“%99 güvenilirlikle anlamlı” olarak belirlenmiştir. Başka bir ifadeyle söz konusu eşitliklerle hesaplanan ve ölçülen değerlerin arasındaki fark %99 güvenilirlikle anlamlı bulunmuştur. Bunun yanı sıra atkı sıklığına ait iki eşitlikten (8.5) nolu denkleme ait sonuçların %95 güvenilirlikte, (8.6) nolu denkleme ait sonuçların ise %99 güvenilirlikte anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde zemin numarasına ait (8.13) eşitliği ve atkı krimpine ait (8.7) eşitliği %99 seviyesinde anlamlı bulunurken, (8.8) ve (8.12) eşitliklerinin korelasyon analizi sonucu anlamlılık düzeyleri %95 olarak gerçekleşmiştir. Çözüğü kopma mukavemetini temsil eden eşitliğin analiz sonuçlarında da %95 güvenilirlikte bir anlamlılık gözlenmiştir.

Bu sonuçlara göre birden fazla eşitlik oluşturulmuş olan değişkenlerden atkı sıklığı için (8.6) eşitliği, atkı krimpi için (8.7) eşitliği, zemin numarası için (8.13) eşitliği, diğerlerine göre daha yüksek güvenilirliğe sahip olduklarından seçilmiş, ayrıca seçilen bu eşitlikler ve diğer değişkenlere ait denklemlerin tümünün önemli düzeyde geçerli oldukları görülmüştür.

8.7.2. Farklı Özellikteki Havluların Verileriyle Yapılan Analiz Sonuçları

Çalışma kapsamında yapılan regresyon analizi ile belirlenen eşitliklerin geçerliliği, bu eşitliklerin oluşturulmasında kullanılan veriler yardımıyla hesaplanan ve ölçülen değerlere korelasyon analizi uygulanarak test edilmiştir.

Bunun yanı sıra bu numunelerden farklı özelliklere sahip ve farklı renklendirme işlemlerine (optik beyazlatma, kumaş veya iplik formunda boyama) tabi tutulmuş havlu kumaşlardan elde edilen fiziksel özellik değerleri de, belirlenen eşitliklerde (Çizelge 8.7) kullanılarak her bir fiziksel özellik için “hesaplanan değerler” belirlenmiş ve bu değerler ile ölçülen değerler arasındaki korelasyon analiz edilmiştir. Böylelikle denklemlerin geçerliliğinin, sadece çalışma kapsamında kullanılan havlu numunelerinin özellikleriyle kısıtlı olup olmadığı test edilmiştir. Söz konusu havluların fiziksel özellikleri Çizelge 8.8’de toplu halde görülmektedir. Çizelge 8.9’da ise sırasıyla gramaj, hav yüksekliği, sıklıklar, krimpler ve iplik numaraları için bu özelliklere ait eşitlikler kullanılarak hesaplanan ve deneysel olarak ölçülen değerlerin korelasyon analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 8.8. Kontrol amaçlı kullanılan havluların fiziksel özellikleri

Numune no	Hav yüksekliği [-]	Sıklık [tel/2cm]		Gramaj [gr/m ²]	İplik numarası (Ne)			Atkı krimp [%]	Zemin krimp [%]
		Atkı	Çözü		Atkı	Zemin	Hav		
1	6	38	56	396,2	16,9	10,9	21,1	14,25	4,75
2	5,68	34	54	413,7	17,4	10,7	21,9	12,05	6,50
3	9,37	44	52	580,5	16,4	10,9	17,4	12,50	5,00
4	6,3	38	52	402	16,9	10,4	21,9	13,50	6,75
5	7,25	44	52	588,3	17,4	9,7	34,7	16,80	7,80
6	4,8	40	50	431,1	16,9	10,7	21,1	18,30	9,90
7	4,36	36	52	383,3	16,9	10,4	21,1	17,35	8,20
8	5,2	32	52	512,4	16,9	12,8	10,7	9,45	9,45
9	5,15	40	52	639,5	17,4	10,2	8,6	11,70	8,25
10	4,94	30	48	503,9	17,4	10,4	10,0	10,10	9,50
11	5,82	36	50	508,6	17,9	13,1	13,1	16,15	8,55
12	7,58	38	46	511,2	16,9	12,8	17,4	17,10	7,85
13	4,85	38	54	462,8	17,9	12,8	18,5	18,40	7,80
14	3,8	32	50	358,8	16,4	10,4	21,9	39,50	10,50
15	4,58	62	52	508,2	17,4	12,8	8,3	12,10	7,85
16	6,3	36	54	419	17,4	13,1	17,9	13,55	7,90
17	6,45	44	54	476,3	17,9	13,1	13,1	11,60	6,35
19	5,96	40	48	443,3	16,9	12,6	12,6	15,30	6,00
20	6,21	36	50	465	16,9	12,3	16,9	14,75	7,85
21	7,1	40	50	435,6	17,9	12,6	21,9	19,65	4,20
22	5,5	38	54	526,9	16,4	12,8	12,6	17,15	6,60
23	6,1	36	46	503,2	16,9	12,8	12,3	11,70	6,45
25	6,12	36	56	438,4	16,4	12,6	17,4	18,25	5,85
26	5,75	38	46	485,3	16,9	12,6	12,6	15,05	6,95
27	4,87	42	58	519,7	17,4	10,5	10,7	13,45	6,95
28	3,9	34	50	432,4	17,9	10,4	10,7	9,75	8,15
29	5,27	36	50	632,4	17,4	10,4	8,2	11,95	6,80
30	5,7	40	52	630	17,4	10,5	8,4	11,20	9,50
31	4,44	38	52	473,43	10,5	12,6	12,8	13,80	4,75
32	4,59	36	46	456,4	21,1	10,7	10,5	16,15	5,10
33	6,43	34	48	420,6	21,1	10,7	17,4	15,95	4,35
34	6,6	40	52	401	17,4	10,9	16,9	10,35	2,85
35	5,28	40	48	626,5	21,1	10,4	8,4	12,65	7,35
36	6,47	32	54	500	12,1	10,4	16,9	15,10	10,55
37	7,84	36	54	550	12,6	10,5	16,4	12,90	9,00
38	7,4	36	54	515	17,9	10,4	16,9	18,75	9,45
39	5,1	30	54	390	16,9	10,7	17,9	14,10	9,85
40	7,12	38	54	586	12,6	10,7	16,9	17,25	10,20
41	4,4	36	54	448	17,4	10,7	17,4	17,00	10,00
42	4,43	32	54	412	16,4	10,2	17,4	15,40	9,30

Çizelge 8.9. Korelasyon analizi sonuçları (kontrol amaçlı kullanılan havlu özellikleriyle)

Bağımlı değişken	Korelasyon katsayısı (r)	"Significant" değeri	Kullanılan denklemin numarası
Gramaj	0,747**	0,000	8.2
Hav yüksekliği	0,416**	0,008	8.3
Çözümlü sıklığı	0,454**	0,007	8.4
Atkı sıklığı	0,495**	0,001	8.6
Atkı krimp	0,368*	0,042	8.7
Zemin çözgü krimp	0,420*	0,026	8.10
Hav çözgü iplik numarası	0,542**	0,000	8.11
Zemin çözgü iplik num.	0,293	0,097	8.13
Atkı iplik numarası	0,349*	0,046	8.14

* : %95 güvenilrlikte anlamlı bir ilişki mevcuttur.

** : %99 güvenilrlikte anlamlı bir ilişki mevcuttur.

Şekilden görüldüğü gibi ZN değişkeni dışında tüm özelliklerde %95 ve %99 güvenilrlik seviyelerinde anlamlı ilişkiler belirlenmiştir. Ancak beklenen şekilde, bu analizlerle elde edilen korelasyon katsayıları genel olarak, eşitliklerin oluşturulmasında yararlanılan verilerle yapılan analizler sonucu elde edilen katsayılardan düşük olmuştur. Yine de bu numunelerin renklendirilmiş olduğu göz önünde bulundurulursa sonuçların oldukça anlamlı olduğu söylenebilmektedir.

Zemin çözgü numarası için hesaplanan ve ölçülen değerler arasında ise anlamlı bir korelasyon tespit edilememiştir. Çalışma kapsamında alınan numunelerde olduğu gibi işletmelerde de zemin çözgü numarası genellikle dar bir aralıkta değişim göstermektedir. Bu nedenle regresyon analiziyle oluşturulmuş olan eşitlik yardımıyla ZN değerinin tahmini her zaman uygulanabilir sonuçlar vermeyebilmektedir. Bu yüzden kurulacak optimizasyon modellerinde ZN değeri matematiksel bir eşitlikle ifade edilmeyip sabit büyüklük olarak ele alınmıştır.

8.8. Optimizasyon Modeline Kısıt Olarak Seçilen Eşitlikler

Yukarıda verilen regresyon analizi ve korelasyon analizi sonuçlarına göre her bir değişkeni matematiksel olarak tanımlayan birer eşitlik seçilmiştir. Söz konusu eşitlikler çalışma kapsamında kurulacak optimizasyon modellerinde kısıt olarak kullanılacak olup Çizelge 8.10'da sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 8.10. Modellerde kullanılacak eşitlikler

Değişken	Eşitlik
Gramaj	$G = -25,476 \cdot HN + 10,407 \cdot ZN - 5,991 \cdot AN + 3,464 \cdot AS + 8,545 \cdot CS + 46,1 \cdot HY$
Hav yüksekliği	$HY = -4,587 + 0,481 \cdot HN + 0,008783 \cdot G$
Çözümlü sıklığı	$CS = 1,047 \cdot HN + 0,990 \cdot ZN + 0,688 \cdot AN + 0,02806 \cdot G$
H. çözgü num.	$HN = 16,398 - 0,264 \cdot AN - 0,0204 \cdot G - 0,233 \cdot AS + 0,283 \cdot CS + 1,11 \cdot HY$
Atkı numarası	$AN = -0,371 \cdot HN + 1,054 \cdot ZN - 0,01377 \cdot G + 0,325 \cdot CS$
Atkı krimp	$KA = -0,00817 \cdot G + 0,432 \cdot CS$
Z. çözgü krimp	$KZ = 0,386 \cdot AS + 0,748 \cdot ZN - 0,729 \cdot AN$
Atkı sıklığı	$AS = 0,188568 \cdot G - 0,000337 \cdot G^2 + 2,122 \cdot 10^{-7} \cdot G^3$
Atkı kopma muk.	$Akop = 24,307 \cdot AS - 30,569 \cdot AN$
Ç. kopma muk.	$Ckop = 17,246 \cdot ZN + 3,752 \cdot CS$
Yumuşaklık	$Y = -0,530 \cdot ZN + 0,01856 \cdot G - 0,256 \cdot HY$
Hidrofilite	$H = -6,957 \cdot HN - 0,451 \cdot G + 6,954 \cdot AS + 3,259 \cdot CS$

Yukarıda modele kısıt olarak alınacak eşitlikler özetlenmiştir, ancak regresyon analizinde aynı değişkenler kullanılarak farklı eşitlikler de oluşturulabilmektedir. t-testi sonuçlarına göre analizden çıkarılacak değişkenlerin seçimindeki öncelik sırasının veya modelin belirtme katsayısının kabul edilebilir sınırının (analizin sonlandırılacağı aşamanın) kişiden kişiye değişmesi farklı eşitlikler oluşturulmasına neden olabilmektedir. Bu denklemler doğrusal olabileceği gibi, çalışma kapsamında oluşturulan denklemlere dahil edilmeyen açıklayıcı değişkenler bağımlı değişkenlerle ayrı ayrı değerlendirilerek doğrusal olmayan (kübik, kuadratik, logaritmik vb.) eşitliklerde oluşturulabilmektedir.

9. OPTİMİZASYON MODELLERİ VE ÇÖZÜMLERİ

9.1. Maliyet Optimizasyonu Modeli ve Çözümü

9.1.1. Kurulan Maliyet Optimizasyonu Modeli

Optimum özelliklere sahip havlu kumaşların minimum maliyetle üretimi için fiziksel büyüklüklerin alması gereken değerleri belirlemek amacıyla geliştirilen ve “**ana/temel model**” olarak tanımlanan söz konusu modelde amaç fonksiyonu olarak havlu kumaşın ham halde birim üretiminin toplam maliyetini veren ifade kullanılmıştır. Buna göre amaç fonksiyonu olarak, elde edilişi 5. Bölümde detaylı olarak verilmiş olan aşağıdaki eşitlik esas alınmıştır.

$$Z_{\min} = \left[\left[\frac{CS}{4} (100 + k_z) \frac{ZC_F}{ZN * 1,693} \frac{1}{1000} \right] + \left[\frac{25 * CS * HY}{HN * 1,693} \frac{HC_F}{1000} \right] + \left[\frac{AS}{2} (100 + k_a) \frac{A_F}{AN * 1,693} \frac{1}{1000} \right] \right] +$$

$$+ \left[\frac{TF}{Asüre * 300 * 22,5} \right] + \left[\frac{I\ddot{U}/mak}{25 * 7,5} \right] + \left[[M + A + K] EF \right]$$

$$\frac{n * 120 * V * TE}{AS * 100}$$

Yukarıda verilmiş olan eşitlikteki büyüklüklerden fiyat bilgileri ve tezgah ile ilgili parametreler kurulacak modelde sabit, dokuyla ilgili büyüklükler ise değişken olarak alınacaktır. İplik fiyatları Kg bazında olup hammaddeye göre değişmektedir. Bu nedenle iplik numarasının değişmesi iplik fiyatlarını etkilemeyecektir ve bu parametreler sabit kabul edilmiştir. Buna göre sabit ve değişken olarak seçilmiş parametreler, çalışmada kullanılan sembolleriyle birlikte Çizelge 9.1’de sıralanmıştır.

Çizelge 9.1. Sabit ve değişken büyüklükler ve sembolleri

Sabit Büyüklükler	Değişken Büyüklükler
Zemin Çözüğü İpliği Fiyatı (ZC_F)	Atkı Sıklığı (AS)
Hav Çözüğü İpliği Fiyatı (HC_F)	Çözüğü Sıklığı (CS)
Atkı İpliği Fiyatı (A_F)	Hav Çözüğü İpliği Numarası (HN)
İşçilik Ücreti (İÜ)	Atkı İpliği Numarası (AN)
Tezgah Fiyatı (TF)	Hav Yüksekliği (HY)
Tezgah Amortisman Süresi (Asüre)	Gramaj (G)
Tezgah Verimi (V)	Zemin Çözüğü Krimpi (k_z)
Tezgah Hızı (n)	Atkı Krimpi (k_a)
Tezgah Motor Gücü (M)	
Aydınlatma İçin Enerji Harcaması (A)	
İklimlendirme Enerji Harcaması (K)	
Elektrik Fiyatı (EF)	
Bir işçinin makina sayısı (mak)	
Tezgah Eni (TE)	
Zemin Çözüğü İpliği Numarası (ZN)	

Amaç fonksiyonunda yeralan sabit büyüklükler için seçilen değerler aşağıda verilmiştir. Söz konusu değerler internet taraması, literatür taraması yapılarak ve işletmelerden alınan veriler değerlendirilerek belirlenmiştir.

Zemin Çözüğü İplik Numarası(ZN)	: Ne 10
Zemin Çözüğü İpliği Fiyatı (ZC_F)	: 3 YTL/Kg
Hav Çözüğü İpliği Fiyatı (HC_F)	: 2 YTL/Kg
Atkı İpliği Fiyatı (A_F)	: 2 YTL/Kg
İşçilik Ücreti (İÜ)	: 400 YTL
Tezgah Fiyatı (TF)	: 90000 YTL
Tezgah Amortisman Süresi (Asüre)	: 2 yıl
Tezgah Verimi (V)	: %80
Tezgah Hızı (n)	: 260 dev/dak
Tezgah Motor Gücü (M)	: 15 kW
Aydınlatma İçin Enerji Harcaması (A)	: 0,8 kW
İklimlendirme Enerji Harcaması (K)	: 2 kW
Elektrik Fiyatı (EF)	: 0,190 YTL/kWh
Bir İşçinin Makina Sayısı (mak)	: 4 adet
Tezgah Eni (TE)	: 3,6 m

Kurulan modelde sabit büyüklüklere atanan değerler yukarıda verilmiş olup, söz konusu veriler günün şartlarına veya isteğe bağlı olarak kolaylıkla değiştirilebilmektedir. İplik fiyatları, işçilik ve enerji ücretleri zamanla değişeceğinden günün şartlarına göre modelin düzenlenmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra tezgah parametrelerinde değişiklik yapılması halinde çözümde meydana gelecek değişikliklere de bakılabilmektedir. Örneğin tezgah devri yukarıdaki modelde 260 dev/dak verilmiş olup bu değer 300'e çıkarılarak model yeniden çözülebilmektedir. Sabit büyüklüklerde meydana gelecek değişimlerin modelin çözümüyle elde edilecek değerlere etkisi ilerleyen bölümlerde irdelenmiştir.

Oluşturulan modelde amaç fonksiyonunun yanı sıra amacı gerçekleştirmede etkin rol oynayan bazı kısıtlar da bulunmaktadır. Modelde amaç, maliyetin minimum yapılması olup bu amaç gerçekleştirilirken havlunun bazı özelliklerinin de (fiziksel ve performans özellik değerleri) belirli şartları sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle bu özellikler için bazı sınır değerler belirlenmiş ve 8. bölümde oluşumu detaylı olarak verilmiş olan matematiksel bağıntılar kullanılarak kısıtlar oluşturulmuştur.

Fiziksel özelliklere ait kısıtların sağ tarafında yer alan sabit değerler endüstride yaygın kullanılan ve literatürde yeralan veriler göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Performans özelliklerinin sınır değerleri ise ilgili standartlar ve işletme bilgileri esas alınarak tespit edilmiştir. Çizelge 9.2'de her bir özellik için seçilmiş alt ve üst sınır değerleri toplu olarak verilmiştir (Yılmaz ve Powell, 2005, Eren ve arkadaşları, 2004, Sanko A.Ş. verileri,2006) .

Çizelge 9.2. Modelde verilen kısıtların sınır değerleri

Özellikler (birimler)	Alt limit	Üst limit
Yumuşaklık derecesi (kg)	0,1	6
Atkı kopma mukavemeti (N)	274	-
Çözüğü kopma mukavemeti (N)	333	-
Batma süresi (hidrofilite)(sn)	2	50
Hav yüksekliği (-)	5	15
Gramaj (gr/m ²)	380	700
Hav çözgü iplik numarası (Ne)	8	20
Çözgü sıklığı (tel/2 cm)	36	52
Atkı sıklığı (tel/2 cm)	30	48
Atkı iplik numarası (Ne)	9	20
Atkı krimp (%)	5	20
Zemin çözgü krimp (%)	5	20

Verilen kısıt ve amaç fonksiyonu ifadeleri LINGO 8.0 optimizasyon yazılımına girilmiş olup, oluşturulan nonlineer optimizasyon modelinin söz konusu yazılıma uygun formatta yazılmış şekli aşağıda verilmiştir.

Kurulan ana model

Min=(((CS/4)*(100+KZ)/(ZN*1,693))*(ZCF/1000))+(((25*CS*HY)/(HN*1,693))*(HCF/1000))+
(((AS/2)*(100+KA)/(AN*1,693))*(AF/1000)))+(((TF/(Asure*300*22,5))+((IU/mak)/(25*7,5))+
((M+A+K)*EF))/((n*120*V*TE)/(AS*100)));

!Yumuşaklık kısıtı;

-0,530*ZN+0,01856*G-0,256*HY<6;

-0,530*ZN+0,01856*G-0,256*HY>0,1;

Y=-0,530*ZN+0,01856*G-0,256*HY;

!Atkı kopma mukavemeti kısıtı;

-30,569*AN+24,307*AS>274;

Akop=-30,569*AN+24,307*AS;

!Çözgü kopma mukavemeti kısıtı;

17,246*ZN+3,752*CS>333;

Ckop=17,246*ZN+3,752*CS;

!Hidrofilite kısıtı;

-6,957*HN-0,451*G+6,954*AS+3,259*CS<50;

-6,957*HN-0,451*G+6,954*AS+3,259*CS>2;

H=-6,957*HN-0,451*G+6,954*AS+3,259*CS;

!Hav yüksekliği kısıtı;

-4,587+0,481*HN+0,008783*G>5;

-4,587+0,481*HN+0,008783*G<15;

$$HY = -4,587 + 0,481 * HN + 0,008783 * G;$$

!Gramaj kısıtı;

$$-25,476 * HN - 5,991 * AN + 8,545 * CS + 46,1 * HY + 10,407 * ZN + 3,464 * AS > 380;$$

$$-25,476 * HN - 5,991 * AN + 8,545 * CS + 46,1 * HY + 10,407 * ZN + 3,464 * AS < 700;$$

$$G = -25,476 * HN - 5,991 * AN + 8,545 * CS + 46,1 * HY + 10,407 * ZN + 3,464 * AS;$$

!Hav çözgü numarası kısıtı;

$$16,398 - 0,264 * AN - 0,0204 * G - 0,233 * AS + 0,283 * CS + 1,11 * HY > 8;$$

$$16,398 - 0,264 * AN - 0,0204 * G - 0,233 * AS + 0,283 * CS + 1,11 * HY < 20;$$

$$HN > 8;$$

!Çözgü sıklığı kısıtı;

$$1,047 * HN + 0,688 * AN + 0,02806 * G + 0,990 * ZN > 36;$$

$$52 > 1,047 * HN + 0,688 * AN + 0,02806 * G + 0,990 * ZN;$$

$$CS = 1,047 * HN + 0,688 * AN + 0,02806 * G + 0,990 * ZN;$$

!Atkı sıklığı kısıtı;

$$0,188568 * G - 0,000337 * G^2 + (2,122 * 10^{-7}) * G^3 > 30;$$

$$0,188568 * G - 0,000337 * G^2 + (2,122 * 10^{-7}) * G^3 < 48;$$

$$AS = 0,188568 * G - 0,000337 * G^2 + (2,122 * 10^{-7}) * G^3;$$

!Atkı iplik numarası kısıtı;

$$-0,371 * HN + 1,054 * ZN - 0,01377 * G + 0,325 * CS > 9;$$

$$-0,371 * HN + 1,054 * ZN - 0,01377 * G + 0,325 * CS < 20;$$

$$AN > 9;$$

!Atkı krimpisi;

$$-0,00817 * G + 0,432 * CS < 20;$$

$$-0,00817 * G + 0,432 * CS > 5;$$

$$KA = -0,00817 * G + 0,432 * CS;$$

!Zemin çözgü krimpisi;

$$0,386 * AS + 0,748 * ZN - 0,729 * AN < 20;$$

$$0,386 * AS + 0,748 * ZN - 0,729 * AN > 5;$$

$$KZ = 0,386 * AS + 0,748 * ZN - 0,729 * AN;$$

Data:

$$ZN = 10;$$

$$Zcf = 3;$$

$$Hcf = 2;$$

$$Af = 2;$$

$$TF = 90000;$$

$$Asure = 2;$$

$$IU = 400;$$

$$M = 15;$$

$$A = 0,8;$$

$$K = 2;$$

$$EF = 0,190;$$

$$n = 260;$$

$$V = 0,8;$$

$$TE = 3,6;$$

$$mak = 4;$$

end data

end

9.1.2. Modelin Çözümü ve Yorumu

Önceki bölümde LINGO 8.0 optimizasyon programına yazılmış haliyle görülen, 3 adedi nonlinear, geri kalanları doğrusal olmak üzere toplam 34 kısıttan oluşan nonlinear modelin çözümü Pentium 4, 3.20 GHz işlemci ve 512 MB Ram özelliklerine sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiş olup 18 iterasyon sonucu “Global Çözüm” elde edilmiştir. Söz konusu çözüm işlemi 30 saniye sürmüştür ve amaç fonksiyonu değeri başka bir ifadeyle kısıtlar doğrultusunda elde edilen minimum maliyet (C) değeri 1,702578 YTL olarak tespit edilmiştir. Aşağıda modelin çalıştırılması sonucu elde edilen çözüm raporu verilmiştir.

Global optimal solution found at iteration:

Objective value:

18
1,702578

Variable	Value	Reduced Cost
CS	50,58762	0,000000
KZ	14,47807	0,000000
ZN	10,00000	0,000000
ZCF	3,000000	0,000000
HY	8,578847	0,000000
HN	17,03062	0,000000
HCF	2,000000	0,000000
AS	37,24963	0,000000
KA	17,22690	0,000000
AN	10,12385	0,000000
AF	2,000000	0,000000
TF	90000,00	0,000000
ASURE	2,000000	0,000000
IU	400,0000	0,000000
MAK	4,000000	0,000000
M	15,00000	0,000000
A	0,8000000	0,000000
K	2,000000	0,000000
EF	0,1900000	0,000000
N	260,0000	0,000000
R	0,8000000	0,000000
TE	3,600000	0,000000
G	566,3346	0,000000
Y	3,014986	0,000000
AKOP	595,9509	0,000000
CKOP	362,2647	0,000000
H	50,00000	0,000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	1,702578	-1,000000
2	2,985014	0,000000
3	2,914986	0,000000
4	0,000000	0,000000

5	321,9509	0,000000
6	0,000000	0,000000
7	29,26474	0,000000
8	0,000000	0,000000
9	0,000000	0,5541004E-02
10	48,00000	0,000000
11	0,000000	0,000000
12	3,578847	0,000000
13	6,421153	0,000000
14	0,000000	-0,8582387E-01
15	186,3346	0,000000
16	133,6654	0,000000
17	0,000000	0,4125406E-04
18	9,331731	0,000000
19	2,668269	0,000000
20	9,030623	0,000000
21	14,58762	0,000000
22	1,412382	0,000000
23	0,000000	-0,3859273E-01
24	7,249629	0,000000
25	10,75037	0,000000
26	0,000000	-0,5787040E-01
27	3,864187	0,000000
28	7,135813	0,000000
29	1,123846	0,000000
30	2,773103	0,000000
31	12,22690	0,000000
32	0,000000	-0,2173299E-02
33	5,521927	0,000000
34	9,478073	0,000000
35	0,000000	-0,2241034E-02

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. Buna göre çözgü sıklığının 50,5 tel/2cm, atkı sıklığının 37,2 tel/2cm, hav yüksekliğinin 8,5 vb. olması halinde dokunacak olan birim ham havlu kumaşın üretimi, kısıtlara göre olabilecek minimum maliyetle (1 m²'si 1,70 YTL) gerçekleştirilebilmektedir. Çözüm raporuna göre bu şartlarda üretilen havlunun atkı ve çözgü kopma dayanımı değerleri sırasıyla 595,9 ve 362,2 N, hidrofilite derecesi 50 sn ve yumuşaklık derecesi 3,01 Kg olmaktadır.

“Reduced cost” sütunu ise modelde yer alan büyüklüklerin, modelin optimum çözümünde belirli bir değer olarak 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 tüm büyüklüklerin 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 2. satırdaki ifade yumuşaklık kısıtı olup söz konusu kısıtın “slack or surplus” değeri 2,985 olarak belirlenmiştir. Bu kısıtın sağ tarafındaki değerin 6, çözüm raporundaki optimum değerin ise 3,014 olduğu görülmektedir. Bu durumda yumuşaklık kısıtının sağ tarafındaki sabit değerden $6 - 3,014 = 2,985$ birimi çözümde kullanılmamış olup bu değer “slack or surplus” sütununda belirtilmiştir. Söz konusu kısıtın sağ tarafındaki değerin tamamının kullanılmıyor olması nedeniyle bu değerin arttırılması veya çözümde yeralan değere kadar ($Y = 3,014$) azaltılması halinde modelin çözülmesiyle elde edilen optimum değerlerin değişmeyeceği anlaşılmaktadır. Başka bir ifadeyle bu kısıtın sağ tarafına girilen değerin 3,014 ile $+\infty$ arasında değişmesi halinde çözüm değişmeyecektir. Bunun yanı sıra 4. satırda yeralan kısıt eşitlik halinde olduğundan “slack or surplus” değerinin sıfır olduğu görülmektedir.

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 2. sırada yeralan kısıta ait dual price değerinin sıfır olduğu rapordan görülmektedir. Söz konusu değer yumuşaklık kısıtına ait olup, çözümde yumuşaklığın aldığı değer bu kısıtın sağ taraf sabitinden küçük olduğundan sabit değer bir birim artırılması veya azaltılması amaç fonksiyonunun değerini değiştirmemektedir. Bu nedenle de bu kısıta ait dual price değeri sıfır olarak gerçekleşmiştir.

Raporda 9. sırada yer alan dual price değeri (0.5541×10^{-2}) ise hidrofilité kısıtına ait olup, problemde maliyet minimizasyonu amaçlandığından bu kısıtın sabit değerinin 1 birimlik artışının amaç fonksiyonu değerini $0,5541 \times 10^{-2}$ birim azaltacağı anlamına gelmektedir. Bunun yanı sıra 14. sırada yer alan “dual price” değeri negatif olduğundan söz konusu kısıtın sabit değerinin artması amaç fonksiyonunun değerinin de artmasına neden olmaktadır.

Yukarıda verilen modelde sabit büyüklüklere verilen değerler ve kısıtlar doğrultusunda elde edilen çözüm raporu irdelenerek Çizelge 9.3 oluşturulmuştur. Kısıtlara uygun şekilde performans özellikleri belirli değerlerde olan bir havlu kumaşın üretiminin minimum maliyetle gerçekleştirilebilmesi için fiziksel özelliklerin alması gereken değerler, performans özelliklerinin alacağı değerler ve maliyet tutarı çizelgede görülmektedir. Buna göre gramajı $566,3 \text{ gr/m}^2$, hav yüksekliği 8,5, atkı ve çözgü sıklıkları sırasıyla 37,2 ve 50,5 tel/2cm vb. olan bir havlu kumaşın üretim maliyeti 1,70 YTL olup, bu değer modele girilen kısıtlar doğrultusunda sağlanabilecek minimum maliyet değeri olarak tanımlanabilmektedir.

Çizelge 9.3. Ana modelin çözümü ile elde edilen değerler

Minimum maliyet değeri: 1,702578 YTL	
Özellikler	Optimum değerler
Fiziksel Özellikler	
Çözümlü sıklığı (tel/2cm)	50,5
Atkı sıklığı (tel/2cm)	37,2
Atkı iplik numarası (Ne)	10,1
Zemin çözümü iplik numarası (Ne)	10,0
Hav çözümü iplik numarası (Ne)	17,0
Hav yüksekliği (-)	8,5
Zemin çözümü krimp (%)	14,4
Atkı krimp (%)	17,2
Gramaj (gr/m ²)	566,3
Performans Özellikleri	
Yumuşaklık derecesi (kg)	3,0
Atkı kopma mukavemeti (N)	595,9
Çözümlü kopma mukavemeti (N)	362,2
Batma süresi (hidrofilite)(sn)	50,0

9.1.3. Sabit Büyüklüklerin Değiştirilmesiyle Elde Edilen Çözümler

LINGO optimizasyon yazılımına uygun formatta yazılmış şekli ve çözümü verilmiş olan maliyet optimizasyonu modeli daha önce belirtildiği gibi sabit ve değişken büyüklüklerden oluşmaktadır. Modelin ilk çözümü için sözkonusu sabit büyüklüklere birer değer verilmiş ve çözüm gerçekleştirilmiştir.

Ancak çalışmada sabit kabul edilmiş bir fiziksel büyüklük olan zemin çözümü numarasının veya tezgah büyüklükleri ve bazı üretim parametrelerinin fiyatlarının değiştirilmesiyle maliyet ve/veya değişken büyüklüklerin aldıkları değerlerde meydana gelebilecek değişimler de, seçilmiş bazı değerler için belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla daha önce verilen modelde söz konusu sabit büyüklükler değiştirilerek yeniden çözüm gerçekleştirilmiştir. Aşağıda sırasıyla zemin çözümü iplik numarasının, tezgah ile ilgili parametrelerin, ipliklerin ve elektriğin birim fiyatı ile işçilik ücretlerinin değişmesiyle elde edilen yeni sonuçlar irdelenmiştir.

9.1.3.1. Zemin Çözümlü İplik Numarasının Değişimi

Çalışma kapsamında oluşturulan temel modelde zemin çözgü numarası (ZN) Ne 10 alınarak sabit değer kabul edilmiştir. Bu değerdeki değişimlerin çözüm ile elde edilen büyüklükleri ne şekilde etkileyeceğini belirlemek amacıyla ZN'ye sırasıyla 8, 9, 11 ve 12 değerleri verilerek model yeniden düzenlenmiş ve çözümü gerçekleştirilmiştir. Buna göre söz konusu değişiklikler yapılarak gerçekleştirilen çözümler sonucu fiziksel özelliklerin ve performans özelliklerinin almış oldukları değerler Çizelge 9.4'te toplu olarak verilmiştir.

Aşağıdaki çizelgeden görüldüğü gibi zemin çözgü numarası (ZN) değerinin artmasıyla başka bir ifadeyle zemin çözgü ipliğinin incelmesiyle yumuşaklık (Y), atkı kopma mukavemeti (A_{kop}), çözgü kopma mukavemeti (C_{kop}), gramaj (G), atkı sıklığı (AS) ve zemin çözgü krimp (KZ) değerleri artmış, hav yüksekliği (HY), atkı iplik numarası (AN), hav çözgü iplik numarası (HN) ve atkı krimp (KA) değerleri azalmış, hidrofilite (H) ve çözgü sıklığı (CS) değerleri ise neredeyse sabit kalmıştır. Maliyetin ise iplik inceldikçe bir miktar yükseldiği tespit edilmiştir.

Çizelge 9.4. Zemin çözgü iplik numarası (ZN) değerinin değişmesiyle elde edilen çözüm değerleri

Özellikler	Semboller	ZN=8	ZN=9	ZN=10	ZN=11	ZN=12
Maliyet	C	1,7030	1,6946	1,7025	1,7231	1,7601
Yumuşaklık	Y	2,7374	2,8443	3,0149	3,1940	3,3933
Atkı kop. muk.	Akop	532,889	587,566	595,950	608,100	625,539
Çözgü kop. muk.	Ckop	333,000	344,365	362,264	379,998	397,725
Hidrofilite	H	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Gramaj	G	511,713	535,433	566,334	597,735	630,518
Hav yüksekliği	HY	9,8434	9,0755	8,5788	8,0857	7,6136
Atkı sıklığı	AS	36,6823	36,9247	37,2496	37,6260	38,1111
Çözgü sıklığı	CS	51,9808	50,4134	50,5876	50,7174	50,8459
Atkı Numarası	AN	11,7356	10,1398	10,1238	10,0256	9,8409
Hav Ç. Numarası	HN	20,6570	18,6274	17,0306	15,4320	13,8519
Atkı krimp	KA	18,2750	17,4041	17,2269	17,0264	16,8141
Zemin krimp	KZ	11,5880	13,5930	14,4780	15,4429	16,5128
Zemin Ç. Num.	ZN	8,000	9,000	10,000	11,000	12,000

9.1.3.2. Tezgah Parametrelerinin Değişimi

Çalışma kapsamında amaç fonksiyonu olarak kullanılan ifadede tezgah eni, tezgah devri, tezgah verimi gibi dokuma makinasıyla ilgili parametrelere de yer verilmiş ve bu büyüklüklere sabit değerler atanmıştır. Ancak bu değerlerde meydana gelecek değişimin maliyeti ve/veya değişken büyüklüklerin alacağı değerleri nasıl etkileyeceğini belirlemek amacıyla yine seçilmiş bazı değerlerle denemeler yapılmıştır. Ayrıca bir işçinin bakmakla yükümlü olduğu makina sayısının değişimi ile meydana gelebilecek değişimler de tespit edilmeye çalışılmıştır.

Tezgah ile ilgili parametrelerin değiştirilmesi sonucunda “değişken büyüklükler” olarak ifade edilen fiziksel ve performans özelliklerinin aldıkları değerlerin genellikle değişmediği veya ihmal edilebilir oranda küçük değişikliklerin olduğu tespit edilmiştir.

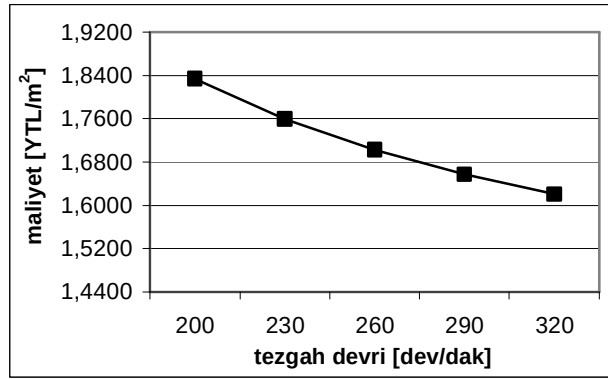
Ancak söz konusu değişikliklerin maliyette artış veya azalışa yol açtığı görülmüş olup bu değişimler aşağıdaki çizelgelerde sırasıyla verilmiştir. Buna göre

Çizelge 9.5'te tezgah devrinin, Çizelge 9.6'da tezgah veriminin, Çizelge 9.7'de tezgah eninin ve Çizelge 9.8'de ise bir işçinin baktığı makina sayısının değiştirilmesiyle elde edilen modellerin çözümü ile maliyetin aldığı değerler verilmiştir.

Çizelge 9.5'ten görüldüğü gibi tezgah devri 200-320 dev/dak arasında 30'ar devir arttırılarak model yeniden çözülmüş ve tezgah devri arttıkça birim zamandaki üretim arttığından beklenen şekilde maliyetin azaldığı belirlenmiştir. Söz konusu değişimin doğrusala yakın bir formda olduğu Şekil 9.1'de açıkça görülmektedir. Tezgah hızı 200 dev/dak'dan 320 dev/dak'ya çıkarıldığında birim havlu kumaş üretim maliyetinin 1,83 YTL'den 1,62 YTL'ye düştüğü tespit edilmiştir.

Çizelge 9.5. Tezgah devrinin (N) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri

Tezgah devri (dev/dak)	200	230	260	290	320
Maliyet (YTL/m ²)	1,834177	1,759796	1,702578	1,657198	1,620326



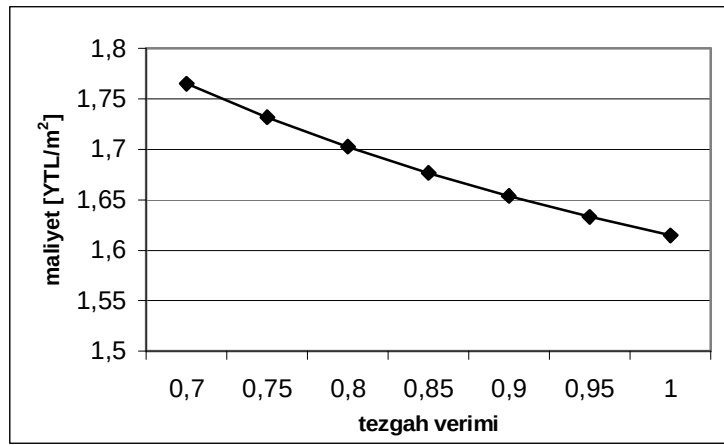
Şekil 9.1. Tezgah devri-maliyet ilişkisi

Çalışma kapsamında tezgah veriminin 0,7 (%70) ile 1,0 (%100) arasında değiştirilmesi halinde maliyette meydana gelebilecek değişim de irdelenmiş ve Çizelge 9.6'da görüldüğü gibi verim arttıkça maliyetin azaldığı belirlenmiştir.

Çizelge 9.6. Tezgah veriminin (V) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri

Tezgah verimi	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
Maliyet (YTL/m ²)	1,765	1,731	1,702	1,676	1,653	1,633	1,614

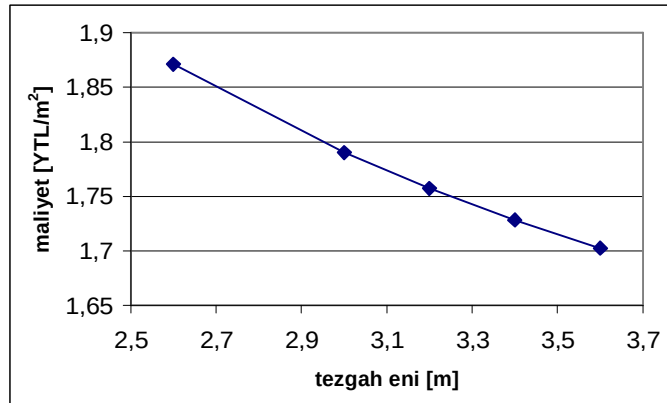
Diğer tüm parametrelerin sabit tutulması halinde tezgah verimi ile maliyet arasındaki etkileşim Şekil 9.2’de verilmiştir. Burada da doğrusala yakın ve azalan bir ilişki söz konusu olup tezgahın %100 verimle çalışması halinde modelde belirtilen özelliklere sahip bir havlunun birim üretiminin 1,61 YTL ile gerçekleştirilebileceği şekilden görülmektedir.

**Şekil 9.2.** Tezgah verimi-maliyet ilişkisi

Dokuma işleminin gerçekleştirildiği tezgahın eninin arttırılmasının da birim üretim maliyetinin azalmasına yol açtığı belirlenmiştir (Çizelge 9.7). Bu durumun tezgah eninin artmasıyla birim zamanda gerçekleştirilebilecek üretim miktarının artmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Tezgah eninin 2,6 m’den 3,6 m’ye çıkarılması halinde maliyette %9 oranında azalma meydana geldiği çizelgeden görülebilmektedir. Şekil 9.3’ten ise tezgah eninin değişmesi halinde maliyette meydana gelen değişimin doğrusala oldukça yakın olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 9.7. Tezgah eninin (TE) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri

Tezgah eni (m)	2,6	3,0	3,2	3,4	3,6
Maliyet (YTL/m ²)	1,871294	1,790312	1,757412	1,728383	1,702578

**Şekil 9.3.** Tezgah eni-maliyet ilişkisi

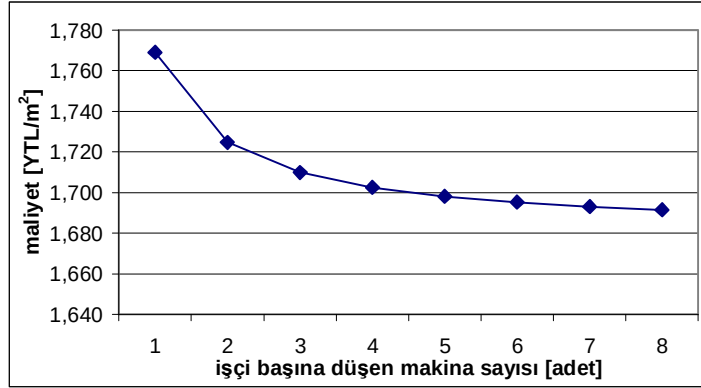
İşletmede işçi başına düşen dokuma makinası sayısının değişmesiyle birim üretim maliyetinde meydana gelebilecek değişim Çizelge 9.8’de verilmiştir. Söz konusu değişimin şekli Şekil 9.4’te daha açıkça görülmektedir. Bir işçiye düşen makina sayısının 1’den 3’e çıkarılması halinde maliyette 1,76 YTL’den 1,70 YTL’ye düşüş meydana gelirken makina sayısı daha fazla arttırıldığında ise maliyette neredeyse değişim olmadığı belirlenmiştir. Ancak bu durumda maliyette değişim meydana gelmemesine rağmen ürün kalitesinin düşeceği tahmin edilmektedir.

Çizelge 9.8. İşçi başına düşen makina sayısı (mak) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri

İşçi başına düşen makina sayısı (mak)	1	2	3	4	5	6	7	8
Maliyet (YTL/m ²)	1,768	1,724	1,709	1,702	1,698	1,695	1,693	1,691

Daha önce verilmiş olan grafiklerden görüldüğü gibi tezgah ile ilgili parametreler ile maliyet arasındaki ilişkiler genellikle doğrusal formda olurken bir

işçi başına düşen makina sayısının artmasıyla maliyette meydana gelecek değişim parabolik şekilde gerçekleşmiştir (Şekil 9.4).



Şekil 9.4. Makina sayısı-maliyet ilişkisi

9.1.3.3. Üretim Parametrelerinin Fiyatlarının Değişimi

Çalışma kapsamında oluşturulan modelde amaç fonksiyonu birim üretim maliyeti olup, bu ifadede iplik fiyatları ile enerji ve işçilik ücretleri de yer almaktadır. Söz konusu büyüklükler modele sabit olarak alınmış olup bunların değişmesiyle maliyette meydana gelebilecek değişim de modele farklı değerler girilerek gerçekleştirilen çözümlerle belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre atkı, zemin ve hav çözgü iplik fiyatlarının etkisi sırasıyla Çizelge 9.9, 9.10 ve 9.11’de verilmiştir.

Çizelgelerden görüldüğü gibi üç iplik sisteminde de ipliğin birim fiyatının artışı beklenen şekilde maliyetin artmasına neden olmuştur. Atkı ipliğini fiyatı iki katına (1,5 YTL’den 3 YTL’ye) çıkarıldığında maliyette yaklaşık %11’lik artış tespit edilmiştir. Benzer oran zemin çözgü ipliği fiyatı-maliyet ilişkisi içinde geçerli olmuştur.

Hav çözgü ipliğinde iplik fiyatı 1,5 YTL’den 3 YTL’ye çıkarıldığında ise zemin ve atkıdan farklı olarak maliyette %37’lik bir artış meydana gelmiştir. Buna göre hav çözgü ipliğinin fiyatının maliyete etkisinin zemin ve atkıya oranla daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum birim havlu üretiminde hav çözgü ipliği sarfiyatının diğerlerinden fazla olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 9.9. Atkı ipliği fiyatının (AF) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri

Atkı ipliği fiyatı (YTL/kg)	1,5	2	2,5	3	3,5
Maliyet (YTL/m ²)	1,634703	1,702578	1,762922	1,819840	1,876740

Çizelge 9.10. Zemin çözgü ipliği fiyatının (ZCF) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri

Zemin ç. ipliği fiyatı (YTL/kg)	2	3	4	5
Maliyet (YTL/m ²)	1,616871	1,702578	1,787912	1,872898

Çizelge 9.11. Hav çözgü ipliği fiyatının (HCF) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri

Hav ç. ipliği fiyatı (YTL/kg)	1,5	2	2,5	3	3,5
Maliyet (YTL/m ²)	1,511684	1,702578	1,888493	2,071410	2,254144

Çizelge 9.12’de ise bir işçiye ödenen ücretin değişmesi halinde belirli özelliklerde 1 m² havlu üretiminin maliyetinde meydana gelecek değişimi belirlemek için yapılan çözüm sonuçları verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi işçilik ücretlerindeki %100’lük bir artış (300 YTL’den 600 YTL’ye çıkarılması halinde), birim kumaş üretim maliyetinde sadece %0,97’lik bir artışa yol açmaktadır.

Çizelge 9.12. İşçilik ücretinin (İÜ) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri

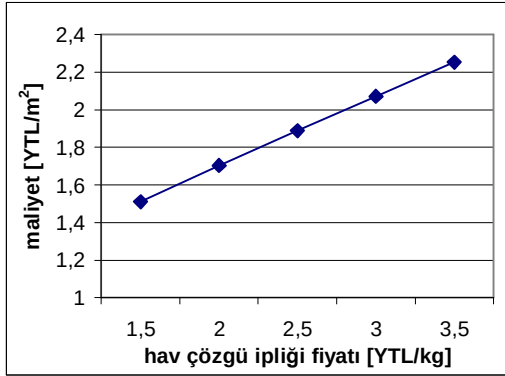
İşçilik ücreti (YTL/ay)	300	350	400	450	500	600
Maliyet (YTL/m ²)	1,697051	1,699815	1,702578	1,705342	1,708106	1,713633

Elektrik fiyatının maliyete etkisini belirlemek amacıyla model üzerinde yapılan değişimler sonucu elde edilen maliyet değerleri ise Çizelge 9.13’te verilmiştir.

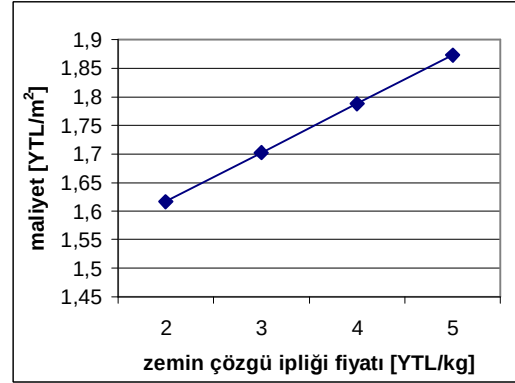
Çizelge 9.13. Elektrik birim fiyatının (EF) değişmesiyle elde edilen maliyet değerleri

Elektrik fiyatı (YTL/kWh)	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25
Maliyet (YTL/m ²)	1,67306	1,68782	1,70257	1,71733	1,73209	1,74685

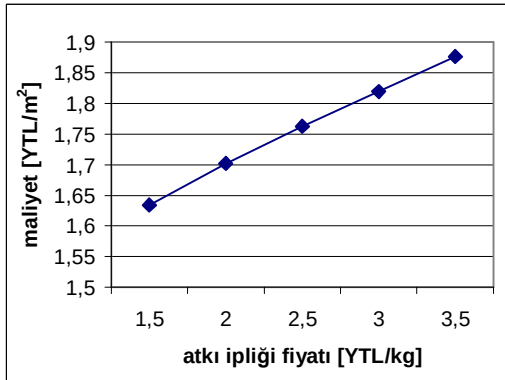
Hav, zemin çözgü iplikleri ve atkı ipliklerinin fiyatları, elektriğin birim fiyatı ve işçilik ücretleri ile birim havlu kumaş üretim maliyeti arasındaki etkileşimler grafiksel olarak sırasıyla Şekil 9.5, 9.6, 9.7, 9.8, 9.9’da verilmiştir. Tüm grafiklerde parametreler arasında kuvvetli doğrusal bir ilişki olduğu açıkça görülebilmektedir.



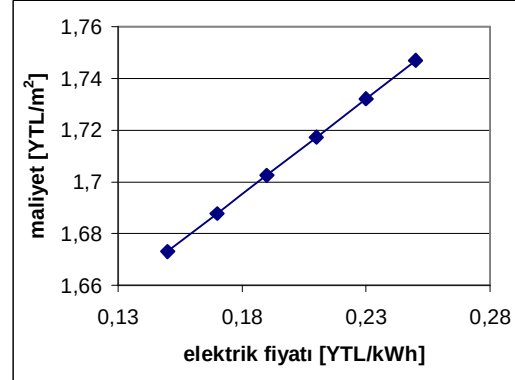
Şekil 9.5. HCF-maliyet ilişkisi



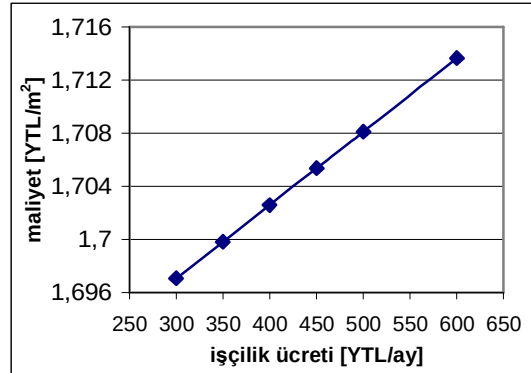
Şekil 9.6. ZCF-maliyet ilişkisi



Şekil 9.7. AF-maliyet ilişkisi



Şekil 9.8. Elek. fiyatı-maliyet ilişkisi



Şekil 9.9. İşçilik ücreti-maliyet ilişkisi

9.2. Alternatif Modeller ve Çözümleri

Çalışma kapsamında öncelikle kısıtları sağlayacak şekilde maliyeti minimum yapacak fiziksel büyüklükleri ve performans özelliklerini belirlemeyi amaçlayan nonlinear model kurulmuş ve modelin optimum çözümü bulunmuştur. İşletmelerde genellikle belirli özelliklerdeki ürünün üretiminde maliyeti minimize etmek öncelikli amaç olduğundan kurulan bu model yardımıyla elde edilen fiziksel ve performans özellikleri ile maliyet değerleri “**optimum değerler**” olarak kabul edilmiştir.

Ancak bazı durumlarda işletme veya müşteri isteklerine bağlı olarak maliyet göz önüne alınmadan diğer performans özelliklerinin minimum ve/veya maksimum olması amaçlanabilmektedir. Bu doğrultuda Bölüm 9.1’de verilmiş olan model esas alınarak sırasıyla sadece yumuşaklığın minimum olmasının amaçlandığı 2 nolu model, sadece atkı kopma mukavemeti (A_{kop}) veya çözgü kopma mukavemetinin (C_{kop}) maksimum olmasının hedeflendiği 3 ve 4 nolu modeller ile sadece hidrofilite değerinin minimizasyonunun amaçlandığı 5 nolu model oluşturulmuştur. Söz konusu modellerde tek bir amacın gerçekleştirilmesi hedeflendiğinden bu modeller “**tek amaçlı modeller**” olarak ifade edilmektedir.

Söz konusu modellerin çözümü sonucunda amaç fonksiyonunun (ele alınan performans özelliğinin) aldığı değerler bu performans özelliğinin mevcut kısıtlar doğrultusunda sahip olabilecekleri “**en iyi değerler**”dir. Ancak bu şartlarda diğer özellikler ve maliyet olumsuz etkilenebilmektedir.

Atkı kopma mukavemetinin maksimizasyonunun amaçlandığı tek amaçlı bir model örneği ve çözüm raporu aşağıda verilmiştir. Görüldüğü gibi bu model de maliyet minimizasyonunun amaçlandığı model ile aynı prensibe göre kurulmuş olup sadece amaç fonksiyonu olarak maliyet yerine atkı kopma mukavemeti ifadesi kullanılmıştır.

Model:

!Atkı kopma mukavemeti;

$$\text{Max} = -30,569 \cdot \text{AN} + 24,307 \cdot \text{AS};$$

!Maliyet;

$$\begin{aligned} \text{C} = & (((\text{CS}/4) \cdot (100 + \text{KZ}) / (\text{ZN} \cdot 1,693)) \cdot (\text{ZCF}/1000)) + (((25 \cdot \text{CS} \cdot \text{HY}) / (\text{HN} \cdot 1,693)) \cdot (\text{HCF}/1000)) + \\ & (((\text{AS}/2) \cdot (100 + \text{KA}) / (\text{AN} \cdot 1,693)) \cdot (\text{AF}/1000)) + (((\text{TF}/(\text{Asure} \cdot 300 \cdot 22,5)) + ((\text{IU}/\text{mak}) / (25 \cdot 7,5)) + \\ & ((\text{M} + \text{A} + \text{K}) \cdot \text{EF})) / ((\text{n} \cdot 120 \cdot \text{R} \cdot \text{TE}) / (\text{AS} \cdot 100)); \end{aligned}$$

!Yumusaklık kısıtı;

$$-0,530 \cdot \text{ZN} + 0,01856 \cdot \text{G} - 0,256 \cdot \text{HY} < 6;$$

$$-0,530 \cdot \text{ZN} + 0,01856 \cdot \text{G} - 0,256 \cdot \text{HY} > 0,1;$$

$$\text{Y} = -0,530 \cdot \text{ZN} + 0,01856 \cdot \text{G} - 0,256 \cdot \text{HY};$$

!Cözü kopma mukavemeti kısıtı;

$$17,246 \cdot \text{ZN} + 3,752 \cdot \text{CS} > 333;$$

$$\text{Ckop} = 17,246 \cdot \text{ZN} + 3,752 \cdot \text{CS};$$

!Hidrofilite kısıtı;

$$-6,957 \cdot \text{HN} - 0,451 \cdot \text{G} + 6,954 \cdot \text{AS} + 3,259 \cdot \text{CS} < 50;$$

$$-6,957 \cdot \text{HN} - 0,451 \cdot \text{G} + 6,954 \cdot \text{AS} + 3,259 \cdot \text{CS} > 2;$$

$$\text{H} = -6,957 \cdot \text{HN} - 0,451 \cdot \text{G} + 6,954 \cdot \text{AS} + 3,259 \cdot \text{CS};$$

!Hav yüksekliği kısıtı;

$$-4,587 + 0,481 \cdot \text{HN} + 0,008783 \cdot \text{G} > 5;$$

$$-4,587 + 0,481 \cdot \text{HN} + 0,008783 \cdot \text{G} < 15;$$

$$\text{HY} = -4,587 + 0,481 \cdot \text{HN} + 0,008783 \cdot \text{G};$$

!Gramaj kısıtı;

$$-25,476 \cdot \text{HN} - 5,991 \cdot \text{AN} + 8,545 \cdot \text{CS} + 46,1 \cdot \text{HY} + 10,407 \cdot \text{ZN} + 3,464 \cdot \text{AS} > 380;$$

$$-25,476 \cdot \text{HN} - 5,991 \cdot \text{AN} + 8,545 \cdot \text{CS} + 46,1 \cdot \text{HY} + 10,407 \cdot \text{ZN} + 3,464 \cdot \text{AS} < 700;$$

$$\text{G} = -25,476 \cdot \text{HN} - 5,991 \cdot \text{AN} + 8,545 \cdot \text{CS} + 46,1 \cdot \text{HY} + 10,407 \cdot \text{ZN} + 3,464 \cdot \text{AS};$$

!Hav çözgü numarası kısıtı;

$$16,398 - 0,264 \cdot \text{AN} - 0,0204 \cdot \text{G} - 0,233 \cdot \text{AS} + 0,283 \cdot \text{CS} + 1,11 \cdot \text{HY} > 8;$$

$$16,398 - 0,264 \cdot \text{AN} - 0,0204 \cdot \text{G} - 0,233 \cdot \text{AS} + 0,283 \cdot \text{CS} + 1,11 \cdot \text{HY} < 20;$$

$$\text{HN} > 8;$$

!Çözgü sıklığı kısıtı;

$$1,047 \cdot \text{HN} + 0,688 \cdot \text{AN} + 0,02806 \cdot \text{G} + 0,990 \cdot \text{ZN} > 36;$$

$$52 > 1,047 \cdot \text{HN} + 0,688 \cdot \text{AN} + 0,02806 \cdot \text{G} + 0,990 \cdot \text{ZN};$$

$$\text{CS} = 1,047 \cdot \text{HN} + 0,688 \cdot \text{AN} + 0,02806 \cdot \text{G} + 0,990 \cdot \text{ZN};$$

!Atkı sıklığı kısıtı;
 $0,188568 * G - 0,000337 * G^2 + (2,122 * 10^{-7}) * G^3 > 30$;
 $0,188568 * G - 0,000337 * G^2 + (2,122 * 10^{-7}) * G^3 < 48$;
 $AS = 0,188568 * G - 0,000337 * G^2 + (2,122 * 10^{-7}) * G^3$;

!Atkı iplik numarası kısıtı;
 $-0,371 * HN + 1,054 * ZN - 0,01377 * G + 0,325 * CS > 9$;
 $-0,371 * HN + 1,054 * ZN - 0,01377 * G + 0,325 * CS < 20$;
 $AN > 9$;

!Atkı krimpisi;
 $-0,00817 * G + 0,432 * CS < 20$;
 $-0,00817 * G + 0,432 * CS > 5$;
 $KA = -0,00817 * G + 0,432 * CS$;

!Zemin çözgü krimpisi;
 $0,386 * AS + 0,748 * ZN - 0,729 * AN < 20$;
 $0,386 * AS + 0,748 * ZN - 0,729 * AN > 5$;
 $KZ = 0,386 * AS + 0,748 * ZN - 0,729 * AN$;

Data:
 $ZN = 10$;
 $Zcf = 3$;
 $Hcf = 2$;
 $Af = 2$;
 $TF = 90000$;
 $Asure = 2$;
 $IU = 400$;
 $M = 15$;
 $A = 0,8$;
 $K = 2$;
 $EF = 0,190$;
 $n = 260$;
 $R = 0,8$;
 $TE = 3,6$;
 $mak = 4$;
end data
end

Çözüm:

Global optimal solution found at iteration: 4
Objective value: 637,6254

Variable	Value	Reduced Cost
AN	9,000000	0,000000
AS	37,55076	0,000000
C	1,787626	0,000000
CS	52,000000	0,000000
KZ	15,41360	0,000000
ZN	10,000000	0,000000
ZCF	3,000000	0,000000
HY	9,477896	0,000000

HN	18,43291	0,000000
HCF	2,000000	0,000000
KA	17,62817	0,000000
AF	2,000000	0,000000
TF	90000,00	0,000000
ASURE	2,000000	0,000000
IU	400,0000	0,000000
MAK	4,000000	0,000000
M	15,00000	0,000000
A	0,8000000	0,000000
K	2,000000	0,000000
EF	0,1900000	0,000000
N	260,0000	0,000000
R	0,8000000	0,000000
TE	3,600000	0,000000
G	591,9011	0,000000
Y	3,259343	0,000000
CKOP	367,5640	0,000000
H	35,41088	0,000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	637,6254	1,000000
2	0,000000	0,000000
3	2,740657	0,000000
4	3,159343	0,000000
5	0,000000	0,000000
6	34,56400	0,000000
7	0,000000	0,000000
8	14,58912	0,000000
9	33,41088	0,000000
10	0,000000	0,000000
11	4,477896	0,000000
12	5,522104	0,000000
13	0,000000	30,64921
14	211,9011	0,000000
15	108,0989	0,000000
16	0,000000	0,6648420
17	10,43435	0,000000
18	1,565645	0,000000
19	10,43291	0,000000
20	16,00000	0,000000
21	0,000000	-3,584378
22	0,000000	5,681075
23	7,550764	0,000000
24	10,44924	0,000000
25	0,000000	26,61001
26	3,450913	0,000000
27	7,549087	0,000000
28	0,000000	-33,10954
29	2,371832	0,000000
30	12,62817	0,000000
31	0,000000	0,000000
32	4,586405	0,000000
33	10,41360	0,000000
34	0,000000	0,000000

Verilen modelin çözüm raporundan kısıtlar doğrultusunda, maliyet gözardı edildiğinde atkı kopma mukavemetinin maksimum 637,62 N değerini alabileceği, bu durumda üretim maliyetinin ise 1,78 YTL olarak gerçekleşeceği görülmektedir.

Bazı durumlarda ise işletme yönetimi tarafından iki veya daha fazla amacın aynı anda gerçekleştirilmesi, başka bir ifadeyle maliyetle birlikte herhangi bir veya birkaç performans özelliğinin de 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 programming)**” olarak ifade edilmektedir.

Çalışma kapsamında amaçlardan biri maliyetin minimizasyonu olacak şekilde toplam iki veya üç ayrı amaç dikkate alınarak çok amaçlı modeller oluşturulmuştur. Söz konusu çok amaçlı modellerden biri aşağıda örnek olarak verilmiştir. Bu model maliyet minimizasyonunun yanı sıra yumuşaklık değerinin de minimum yapılmasının hedeflendiği çok amaçlı nonlinear modeldir.

Aşağıdaki modelde kısıtlar doğrultusunda iki ayrı amacın aynı anda gerçekleştirilmesi istenmektedir. Bu durumda tek bir amaca yönelik oluşturulan modelin çözümüyle elde edilen optimum değerlerde bir miktar sapma meydana gelebilmektedir. Başka bir ifadeyle maliyetin ve yumuşaklığın birlikte minimize edilmesinin amaçlandığı bir modelle elde edilecek maliyet değeri, sadece maliyetin minimize edilmesinin amaçlandığı bir modelin çözümüyle elde edilen maliyet değerinden daha yüksek olabilecektir.

Maliyetin (C) en iyi değeri temel modelde (1 nolu model) 1,702578 YTL olarak belirlendiğinden $C \leq 1,702578$ ifadesinin çok amaçlı modele girilmesi gerekmektedir. Söz konusu ifadeyi eşitlik haline getirmek amacıyla z_i ile ifade edilen “yapay değişken” maliyet ifadesine eklenmelidir. Burada z_i değerleri her bir özellik için en iyi değerlerden sapma miktarlarını göstermekte olup söz konusu ifade $C + z_i = 1,702578$ şeklinde yazılabilmektedir.

Ancak z_i 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_i değişkeni modelde $(z_i^+ - z_i^-)$ şeklinde ifade

edilmiştir. Ancak burada $z_1^+ \geq 0$ ve $z_2^- \geq 0$ olması gerekmektedir (Öztürk, 1997). Buna göre aşağıdaki modelde görüldüğü gibi yumuşaklık ve maliyet için $C + z_1^+ - z_1^- = 1,702578$ ve $Y + z_2^+ - z_2^- = 2,970299$ ifadeleri oluşturulmuştur.

Modelin amaç fonksiyonu olarak, esas alınan her bir özelliğin en iyi değerlerinden sapma miktarlarının (z_1 ve z_2) 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 her iki büyüklüğün de (maliyet ve yumuşaklık) minimum olması amaçlandığından z_1^- değerlerinin toplamını veren ifade amaç fonksiyonu olarak alınmış ve $\min = z_1^- + z_2^-$ şeklinde bir eşitlik oluşturulmuştur.

Bunun yanı sıra yumuşaklık ve maliyetin eşit önem derecelerine sahip olarak modele katılabilmesi amacıyla bu büyüklüklerin kısıtlar doğrultusunda sahip olabilecekleri en iyi değerlerle, yeni kurulan modelde meydana gelecek sapma miktarları (z_1^- , z_2^-) arasında oluşturulabilen $\frac{1,702578}{z_1^-} = \frac{2,970299}{z_2^-}$ eşitliğinden yararlanılarak $2,970299 * z_1^- = 1,702578 * z_2^-$ ifadesi elde edilmiş ve modele dahil edilmiştir.

Ayrıca minimizasyonları amaçlanan C ve Y büyüklüklerinin yeni oluşturulan iki amaçlı modelde alacakları değerlerin, sahip olabilecekleri “en iyi değerler”den sapma miktarlarını % olarak verebilecek $opt_C_sapma = 100 * (z_1^- / 1,702578)$ ve $opt_Y_sapma = 100 * (z_2^- / 2,970299)$ ifadeleri de modele ilave edilmiştir. Bunların yanı sıra z_1^- , z_1^+ , z_2^- ve z_2^+ büyüklüklerinin sıfırdan büyük olma koşulunun da mutlaka modele girilmesi gerekmektedir.

Yukarıda belirtilen prensibe göre kurulan çok amaçlı nonlinear modelin lingo optimizasyon yazılımına uygun formatta yazılmış şekli aşağıda verilmiştir.

Çok amaçlı model örneği

Min= $z_1^- + z_2^-$;
 $C + z_1^+ - z_1^- = 1,702578$;
 $Y + z_2^+ - z_2^- = 2,970299$;
 $2,970299 * z_1^- = 1,702578 * z_2^-$;
 $opt_C_Sapma = 100 * (z_1^- / 1,702578)$;
 $opt_Y_Sapma = 100 * (z_2^- / 2,970299)$;

!Maliyet;

$$C = (((((CS/4) * (100 + KZ)) / (ZN * 1,693)) * (ZCF/1000)) + (((25 * CS * HY) / (HN * 1,693)) * (HCF/1000)) + (((AS/2) * (100 + KA) / (AN * 1,693)) * (AF/1000))) + (((TF / (Asure * 300 * 22,5)) + ((IU / mak) / (25 * 7,5)) + ((M + A + K) * EF)) / ((n * 120 * V * TE) / (AS * 100)));$$

!Yumusaklık kısıtı;

$$\begin{aligned} -0,530 * ZN + 0,01856 * G - 0,256 * HY &< 6; \\ -0,530 * ZN + 0,01856 * G - 0,256 * HY &> 0,1; \\ Y &= -0,530 * ZN + 0,01856 * G - 0,256 * HY; \end{aligned}$$

!Atkı kopma mukavemeti kısıtı;

$$\begin{aligned} -30,569 * AN + 24,307 * AS &> 274; \\ Akop &= -30,569 * AN + 24,307 * AS; \end{aligned}$$

!Cözü kopma mukavemeti kısıtı;

$$\begin{aligned} 17,246 * ZN + 3,752 * CS &> 333; \\ Ckop &= 17,246 * ZN + 3,752 * CS; \end{aligned}$$

!Hidrofilite kısıtı;

$$\begin{aligned} -6,957 * HN - 0,451 * G + 6,954 * AS + 3,259 * CS &< 50; \\ -6,957 * HN - 0,451 * G + 6,954 * AS + 3,259 * CS &> 2; \\ H &= -6,957 * HN - 0,451 * G + 6,954 * AS + 3,259 * CS; \end{aligned}$$

!Hav yüksekliği kısıtı;

$$\begin{aligned} -4,587 + 0,481 * HN + 0,008783 * G &> 5; \\ -4,587 + 0,481 * HN + 0,008783 * G &< 15; \\ HY &= -4,587 + 0,481 * HN + 0,008783 * G; \end{aligned}$$

!Gramaj kısıtı;

$$\begin{aligned} -25,476 * HN - 5,991 * AN + 8,545 * CS + 46,1 * HY + 10,407 * ZN + 3,464 * AS &> 380; \\ -25,476 * HN - 5,991 * AN + 8,545 * CS + 46,1 * HY + 10,407 * ZN + 3,464 * AS &< 700; \\ G &= -25,476 * HN - 5,991 * AN + 8,545 * CS + 46,1 * HY + 10,407 * ZN + 3,464 * AS; \end{aligned}$$

!Hav çözgü numarası kısıtı;

$$\begin{aligned} 16,398 - 0,264 * AN - 0,0204 * G - 0,233 * AS + 0,283 * CS + 1,11 * HY &> 8; \\ 16,398 - 0,264 * AN - 0,0204 * G - 0,233 * AS + 0,283 * CS + 1,11 * HY &< 20; \\ HN &> 8; \end{aligned}$$

!Çözgü sıklığı kısıtı;

$$\begin{aligned} 1,047 * HN + 0,688 * AN + 0,02806 * G + 0,990 * ZN &> 36; \\ 52 &> 1,047 * HN + 0,688 * AN + 0,02806 * G + 0,990 * ZN; \\ CS &= 1,047 * HN + 0,688 * AN + 0,02806 * G + 0,990 * ZN; \end{aligned}$$

!Atkı sıklığı kısıtı;

$$\begin{aligned} 0,188568 * G - 0,000337 * G^2 + (2,122 * 10^{-7}) * G^3 &> 30; \\ 0,188568 * G - 0,000337 * G^2 + (2,122 * 10^{-7}) * G^3 &< 48; \\ AS &= 0,188568 * G - 0,000337 * G^2 + (2,122 * 10^{-7}) * G^3; \end{aligned}$$

!Atkı iplik numarası kısıtı;

$$\begin{aligned} -0,371 * HN + 1,054 * ZN - 0,01377 * G + 0,325 * CS &> 9; \\ -0,371 * HN + 1,054 * ZN - 0,01377 * G + 0,325 * CS &< 20; \\ AN &> 9; \end{aligned}$$

```

!Atkı krimpisi;
-0,00817*G+0,432*CS<20;
-0,00817*G+0,432*CS>5;
KA=-0,00817*G+0,432*CS;

!Zemin çözgü krimpisi;
0,386*AS+0,748*ZN-0,729*AN<20;
0,386*AS+0,748*ZN-0,729*AN>5;
KZ=0,386*AS+0,748*ZN-0,729*AN;

z1+>=0;
z1->=0;
z2+>=0;
z2->=0;

Data:
ZN=10;
Zcf=3;
Hcf=2;
Af=2;
TF=90000;
Asure=2;
IU=400;
M=15;
A=0,8;
K=2;
EF=0,190;
n=260;
V=0,8;
TE=3,6;
mak=4;
end data
end

```

Modelin çözümü:

Global optimal solution found at iteration:

Objective value:

5
0,7312239E-02
Reduced Cost

Variable	Value	Reduced Cost
Z1E	0,2664238E-02	0,000000
Z2E	0,4648001E-02	0,000000
C	1,705242	0,000000
Z1A	0,000000	0,000000
Y	2,974947	0,000000
Z2A	0,000000	0,000000
OPT_C_SAPMA	0,1564826	0,000000
OPT_Y_SAPMA	0,1564826	0,000000
CS	49,48051	0,000000
KZ	15,19279	0,000000
ZN	10,00000	0,000000
ZCF	3,000000	0,000000
HY	8,406995	0,000000
HN	16,75602	0,000000
HCF	2,000000	0,000000
AS	37,20011	0,000000

KA	16,78562	0,000000
AN	9,117227	0,000000
AF	2,000000	0,000000
TF	90000,00	0,000000
ASURE	2,000000	0,000000
IU	400,0000	0,000000
MAK	4,000000	0,000000
M	15,00000	0,000000
A	0,8000000	0,000000
K	2,000000	0,000000
EF	0,1900000	0,000000
N	260,0000	0,000000
R	0,8000000	0,000000
TE	3,600000	0,000000
G	561,8070	0,000000
AKOP	625,5187	0,000000
CKOP	358,1109	0,000000
H	50,00000	0,000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0,7312239E-02	-1,000000
2	0,000000	2,203463
3	0,000000	0,3101742
4	0,000000	0,4051654
5	0,000000	0,000000
6	0,000000	0,000000
7	0,000000	-2,203463
8	3,025053	0,000000
9	2,874947	0,000000
10	0,000000	-0,3101742
11	351,5187	0,000000
12	0,000000	0,000000
13	25,11086	0,000000
14	0,000000	0,000000
15	0,000000	0,1825348E-01
16	48,00000	0,000000
17	0,000000	0,000000
18	3,406995	0,000000
19	6,593005	0,000000
20	0,000000	-0,5907160
21	181,8070	0,000000
22	138,1930	0,000000
23	0,000000	-0,1036773E-01
24	9,197310	0,000000
25	2,802690	0,000000
26	8,756017	0,000000
27	13,48051	0,000000
28	2,519494	0,000000
29	0,000000	-0,1942692
30	7,200114	0,000000
31	10,79989	0,000000
32	0,000000	-0,2073337
33	3,668600	0,000000
34	7,331400	0,000000
35	0,1172270	0,000000
36	3,214385	0,000000

37	11,78562	0,000000
38	0,000000	-0,5310436E-02
39	4,807215	0,000000
40	10,19279	0,000000
41	0,000000	-0,4829966E-02
42	0,000000	-2,203463
43	0,2664238E-02	0,000000
44	0,000000	-0,3101742
45	0,4648001E-02	0,000000

Verilen çözüm raporunda görüldüğü gibi amaç fonksiyonu $0,7312 \times 10^{-2}$ değerini almış olup, bu değer minimizasyonu amaçlanan yumuşaklık ve maliyetin “en iyi değerler”den sapma miktarlarının toplamını ($z_1 + z_2$) ifade etmektedir. Bu büyüklüğün mümkün olduğunca sıfıra yakın olması istenmektedir. Değer küçüldükçe elde edilen yumuşaklık ve maliyet değerlerinin en iyi değerlere daha çok yaklaştıkları anlaşılmaktadır.

Ayrıca modelin optimum çözümü irdelenecek olursa maliyetin (C) 1,705242 YTL, yumuşaklığın (Y) ise 2,974947 kg değerlerini aldığı görülmektedir. Ancak sözkonusu yumuşaklık değerine sahip havlu kumaşın belirtilen maliyetle üretilmesi için gramajın (G) $561,8 \text{ gr/m}^2$, hav yüksekliğinin (HY) 8,4, atkı ve çözgü sıklıklarının (AS ve CS) sırasıyla 37,2 ve 49,4 tel/2cm vb. özelliklere sahip olarak dokunması gerekmektedir. Bunun yanı sıra sözkonusu üretimin gerçekleştirilmesiyle elde edilecek havlunun Akop değerinin 625,5 N, Ckop değerinin 358,1 ve hidrofilitesinin de 50 sn olacağı çözüm raporundan görülmektedir.

Ayrıca modelde amaç olarak seçilen yumuşaklık ve maliyetin “en iyi değer”lerinden sapma miktarlarının (opt_C_sapma ve opt_Y_sapma) eşit olduğu da (%0,15) görülmekte olup, bu durum iki büyüklüğün modelde eşit önem derecesine sahip olduğunu göstermektedir.

Yukarıda verilen modelin oluşturulma prensibi esas alınarak farklı amaçları içeren 10 ayrı çok amaçlı model (model no: 6, 7, 8, 9.....15) kurulmuş ve bu modellerin çözümleri bulunmuştur. Bunun yanı sıra hiçbir performans özelliğine ve maliyete öncelik tanınmadan tüm özelliklerin optimum değerleri almasının amaçlandığı bir model de (model no:16) kurulmuş ve optimum çözüm bulunmuştur.

Buna göre çalışma kapsamında Bölüm 9.1’de verilmiş olan model esas alınarak farklı amaçlara sahip, 5’i tek amaçlı ve geri kalanları çok amaçlı olmak üzere toplam 16 model kurulmuştur. Söz konusu modellerin çözümleri sonucu fiziksel ve performans özelliklerinin aldığı değerler ile maliyet değerleri Çizelge 9.14’te toplu olarak verilmiştir. Ayrıca çok amaçlı modellerde amaç olarak seçilen her bir özelliğin “en iyi değer”lerinden (1, 2, 3, 4 ve 5 nolu model sonuçları) sapma miktarları da % olarak çizelgeden görülebilmektedir.

Söz konusu çizelgede verilen değerler irdelenerek belirli şartlarda bir üretim gerçekleştirilirken önceliklerin (amaçların) değiştirilmesi halinde (herhangi bir veya birkaç performans özelliğine ve/veya maliyete öncelik tanınması durumunda) maliyette, fiziksel ve performans özelliklerinde meydana gelecek değişimler kolaylıkla görülebilmektedir. Bu değişimler göz önünde bulundurularak çeşitli tercihler yapılabilmekte ve üretim bu tercihler doğrultusunda gerçekleştirilebilmektedir. Ancak sözkonusu değişimler, kısıtların sınır değerlerinin modelde belirtilen şekilde olması durumunda geçerli olmaktadır.

Çizelge 9.14. Oluşturulan modellerin çözüm sonuçları

Model No	Amaç	İlgili modelin optimum değerleri	En iyi değerlerden sapma (%)	Parametre değerleri												
				Çıktı parametreleri*					Girdi parametreleri*							
				C	Y	Akop	Ckop	H	G	HY	AS	CS	AN	HN	KA	KZ
1	min (C)	1,702578	-	1,702	3,01	595,95	362,26	50,00	566,33	8,57	37,24	50,58	10,12	17,03	17,22	14,47
2	min (Y)	2,970299	-	1,705	2,97	628,96	357,62	50,00	561,28	8,38	37,19	49,35	9,00	16,72	16,73	15,27
3	max (Akop)	637,6254	-	1,787	3,25	637,62	367,56	35,41	591,90	9,47	37,55	52,00	9,00	18,43	17,62	15,41
4	max (Ckop)	367,5640	-	1,775	3,23	627,46	367,56	37,26	589,36	9,39	37,51	52,00	9,30	18,29	17,64	15,17
5	min (H)	35,41088	-	1,787	3,25	637,62	367,56	35,41	591,90	9,47	37,55	52,00	9,00	18,43	17,62	15,41
6	min (C) min (Y)	1,705242 2,974947	0,1564826 0,1564826	1,705	2,97	625,51	358,11	50,00	561,80	8,40	37,20	49,48	9,11	16,75	16,78	15,19
7	min (C) max (Akop)	1,721571 630,5123	1,115566 1,115566	1,721	3,02	630,51	359,52	47,18	567,10	8,59	37,25	49,85	9,00	17,05	16,90	15,30
8	min (C) max (Ckop)	1,705341 366,9675	0,1622874 0,1622874	1,705	3,06	562,54	366,96	50,00	571,47	8,77	37,30	51,84	11,26	17,34	17,72	13,67
9	min (C) min (H)	1,777368 36,96639	4,392752 4,392752	1,777	3,23	629,09	367,56	36,96	589,77	9,40	37,52	52,00	9,25	18,32	17,64	15,21
10	min (C) min (Y) max (Akop)	1,716150 3,005959 629,9703	1,200567 1,200567 1,200567	1,716	3,00	629,97	358,86	48,16	565,08	8,52	37,23	49,68	9,00	16,93	16,84	15,29
11	min (C) min (Y) max (Ckop)	1,702580 3,013971 362,1597	1,470297 1,470297 1,470297	1,702	3,01	596,69	362,15	50,00	566,22	8,57	37,24	50,55	10,09	17,02	17,21	14,49

* : Girdi parametreleri işletmede üretim öncesi bilinmesi gereken fiziksel özellikleri, çıktı parametreleri ise üretim sonrası elde edilecek ürünün performans özelliklerini ifade etmektedir.

Çizelge 9.14.'ün devamı

Model No	Amaç	İlgili modelin optimum değerleri	En iyi değerlerden sapma (%)	Parametre değerleri												
				Çıktı parametreleri*					Girdi parametreleri*							
				C	Y	Akop	Ckop	H	G	HY	AS	CS	AN	HN	KA	KZ
12	min (C) min (Y) min (H)	1,771929 3,203144 38,18678	7,839124 7,839124 7,839124	1,771	3,20	635,83	365,65	38,18	585,98	9,26	37,47	51,49	9,00	18,10	17,45	15,38
13	min (C) max (Akop) max (Ckop)	1,730992 626,9842 361,4298	1,668877 1,668877 1,668877	1,730	3,06	626,98	361,42	45,33	571,67	8,76	37,30	50,36	9,15	17,31	17,08	15,20
14	min (C) max (Akop) min (H)	1,777368 629,0936 36,96639	4,392752 4,392752 4,392752	1,777	3,23	629,09	367,56	36,96	589,77	9,40	37,52	52,00	9,25	18,32	17,64	15,21
15	min (C) max (Ckop) min (H)	1,777368 367,5640 36,96639	4,392752 4,392752 4,392752	1,777	3,23	629,09	367,56	36,96	589,77	9,40	37,52	52,00	9,25	18,32	17,64	15,21
16	min (C) min (Y) max (Akop) max (Ckop) min (H)	1,787626 3,259343 637,6254 367,5640 35,41088	-	1,787	3,25	637,62	367,56	35,41	591,90	9,47	37,55	52,00	9,00	18,43	17,62	15,41

* : Girdi parametreleri işletmede üretim öncesi bilinmesi gereken fiziksel özellikleri, çıktı parametreleri ise üretim sonrası elde edilecek ürünün performans özelliklerini ifade etmektedir.

Kurulan tüm modellerin çözüm raporları değerlendirildiğinde, kısıtlar sabit kalmak kaydıyla modelin amacının değişmesi halinde gramaj değerlerinin 561-591 gr/m², hav yüksekliklerinin 8,3-9,4, atkı ve çözgü sıklıklarının sırasıyla 37,1-37,5 tel/2cm ve 49-52 tel/2cm, atkı ve hav çözgü numaralarının Ne 9-11,2, Ne 16,7-18,4, atkı ve zemin krimpelerinin ise % 16,7-17,7, % 13,6-15,4 değerleri arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Buna göre kısıtların sınır değerleri değişmediği sürece amaçtaki öncelikler değişse de fiziksel özelliklerin aldığı değerlerin (HY ve G dışında) birbirine oldukça yakın olduğu söylenebilmektedir.

Bunun yanı sıra Akop büyüklüğünün 562,54-637,56 N, Ckop değerlerinin 357,627-367,564 N, yumuşaklık değerlerinin 2,97-3,259 kg ve hidrofilitelerin ise 35,41-50 sn aralıklarında değiştiği tespit edilmiştir. Sonuçlara göre kısıtlar aynı kalmak şartıyla amacın değişmesi halinde atkı kopma mukavemeti ve hidrofilitelerinde dikkate değer bir değişim meydana geldiği söylenebilmektedir.

Çizelge 9.14'te görüldüğü gibi sadece maliyet minimizasyonunun amaçlandığı 1 nolu model ile çalışmada elde edilen en düşük maliyet değeri olan 1,702 YTL elde edilmiştir. Benzer şekilde performans özelliklerinin ayrı ayrı amaç fonksiyonu olarak alındığı 2, 3, 4 ve 5 nolu modellerin de sözkonusu performans özelliğinin sahip olabileceği en iyi değerleri veren modeller oldukları görülmektedir. Buna göre bu modellerde amaç fonksiyonunun aldığı değerler, kısıtlar doğrultusunda Y, Akop, Ckop ve H büyüklüklerinin alabilecekleri en iyi değerlerdir. Ancak amacın maliyet minimizasyonu olması halinde ise sözkonusu özellikler için en iyi değerlerden sapmalar meydana gelmiştir. Başka bir ifadeyle maliyet göz önüne alındığında beklenen şekilde kumaş performans özelliklerinde belirli bir miktar kötüleşme tespit edilmiş olup bu değişim miktarları % olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 9.15).

Çizelge 9.15. Tek amaçlı alternatif modellerle ana model sonuçlarının karşılaştırması

Özellik	Değişim miktarı (%)	Değişim şekli
Yumuşaklık (Y)	1,48	artma
Atkı kopma mukavemeti (Akop)	6,5	azalma
Çözgü kopma mukavemeti (Ckop)	1,44	azalma
Hidrofiliteler (H)	41,19	artma

Buna göre sadece maliyet ele alındığında hidrofilite değerinde “en iyi değer”e göre %41,19’luk artış meydana gelmiştir ve bu durum maliyetin öncelikli olarak ele alınması halinde hidrofilite derecesinin çok yüksek bir oranda kötüleştiğini ifade etmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi hidrofilite derecesinin tespit edilmesinde kullanılan test yönteminin prensibinden dolayı, mamulün hidrofilite değeri (batma süresi) arttıkça hidrofilitesi (su emiciliği) azalmaktadır. Benzer durum yumuşaklık için de geçerli olmaktadır. Kopma mukavemetlerinde ise tespit edilen sayısal değerlerdeki artış, mukavemetin arttığını ifade etmektedir.

Çalışma kapsamında maliyet ve performans özellikleri için 1 nolu model ile elde edilen değerlerin optimum değerler olarak kabul edildiği daha önce belirtilmiştir. Buna göre önceliklerin (amaç olarak ele alınan büyüklüklerin) değişmesi halinde fiziksel ve performans özelliklerinin aldığı değerlerde meydana gelebilecek optimum değerlerden sapma miktarları da irdelenmiştir. Çizelge 9.16’da sözkonusu değişim miktarları ve değişim şekilleri tüm modeller için ayrı ayrı verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi 1 ve 2 nolu modellerin çözüm sonuçları (Çizelge 9.14) ele alındığında sadece yumuşaklığın minimize edilmesinin amaçlanması halinde (2 nolu model) 1 nolu modelle elde edilen optimum yumuşaklık değerine göre %1,45’lik azalma, Akop değerinde ise %5,5’lik artış belirlenmiştir. Bunun yanı sıra çözgü kopma mukavemeti değerinin %1,28 oranında azaldığı, hidrofilite derecesinin ise değişmediği tespit edilmiştir.

Kısıtlar doğrultusunda maliyetin minimum ve atkı kopma mukavemetinin maksimum olmasının amaçlandığı 7 nolu model sonuçları ile maliyet minimizasyonunun amaçlandığı 1 nolu model sonuçları kıyaslandığında, çizelgeden görüldüğü gibi atkı kopma mukavemeti değerinde %5,79 iyileşme, maliyette ise %1,11 oranında artış tespit edilmiştir.

Maliyet ve yumuşaklığın birlikte minimize edilmeye çalışıldığı 6 nolu model sonucu maliyet ve yumuşaklıkta optimum değerlere göre sırasıyla %0,176 artış ve %1,32 azalma (iyileşme) şeklinde değişiklik olduğu belirlenmiştir. Bunlara çözgü kopma mukavemetinin (Ckop) maksimizasyonu da ilave edildiğinde (11 nolu model) optimum değerlerle aynı sonuçlar elde edilmiştir. Bu durumda yumuşaklık ve maliyetin yanı sıra çözgü kopma mukavemetinin de eniyilenmeye çalışılması halinde

6 nolu modelin çözümüyle yumuşaklıkta meydana gelen iyileşmenin kaybedildiği görülmektedir.

Bunlara ilave olarak minimum maliyet ve hidrofilite değeri ile maksimum atkı kopma mukavemetinin amaçlandığı 14 nolu model ile 1 nolu model sonuçları arasındaki değişime bakıldığında, atkı kopma mukavemeti ve hidrofilitede dikkate değer bir iyileşme meydana gelirken maliyetin %4,4 oranında arttığı ve yumuşaklığın da %7,43 ile yüksek bir oranda kötüleştiği görülmektedir. Bu nedenle yumuşaklığın çok önemli olmadığı ancak hidrofilite ve kopma mukavemetinin öncelikli olarak ele alınması gereken durumlarda, bu modelin çözüm sonuçları dikkate alınarak üretim yapılması tavsiye edilebilmektedir.

Tüm performans özellikleri ve maliyetin aynı anda eniyilenmesinin amaçlandığı 16 nolu modelde ise maliyetin optimum değere göre yaklaşık %5, yumuşaklık değerinin %8,1 arttığı (kötüleştiği), atkı ve çözgü kopma mukavemetlerinin sırasıyla %6,9 ve %1,46 oranlarında iyileştiği ve hidrofilitenin %29 azaldığı (emciliğin arttığı) tespit edilmiştir. Bu durumda yumuşaklık ve maliyetteki olumsuz, atkı kopma mukavemeti ve hidrofilitedeki olumlu değişimler göz önünde bulundurularak uygun bir tercih yapılmalıdır.

Çalışma kapsamında kurulan modellerin tümünün çözüm raporlarının değerlendirilmesiyle tespit edilen bazı noktalar “Sonuçlar ve Öneriler” bölümünde verilecektir.

Çizelge 9.16. Alternatif modellerin çözüm değerlerinde optimum değerlerden sapma miktarları

Model No	Amaç	Maliyet (C)		Yumuşaklık (Y)		Atkı kopma mukavemeti (Akop)		Çözümlü kopma mukavemeti (Ckop)		Hidrofilite (H)	
		Değişim miktarı (%) ^{*1}	Değişim şekli	Değişim miktarı (%) ^{*1}	Değişim şekli ^{*2}	Değişim miktarı (%) ^{*1}	Değişim şekli	Değişim miktarı (%) ^{*1}	Değişim şekli	Değişim miktarı (%) ^{*1}	Değişim şekli ^{*2}
2	min (Y)	0,17	artma	1,45	azalma	5,5	artma	1,28	azalma	_* ³	_* ³
3	max (Akop)	4,99	artma	8,1	artma	6,9	artma	1,46	artma	29	azalma
4	max (Ckop)	4,2	artma	7,29	artma	5,28	artma	1,46	artma	25,4	azalma
5	min (H)	4,99	artma	8,1	artma	6,9	artma	1,46	artma	29	azalma
6	min (C) min (Y)	0,176	artma	1,32	azalma	4,96	artma	1,14	azalma	_* ³	_* ³
7	min (C) max (Akop)	1,116	artma	0,33	artma	5,79	artma	0,75	azalma	5,62	azalma
8	min (C) max (Ckop)	0,176	artma	1,52	artma	5,60	azalma	1,29	artma	_* ³	_* ³
9	min (C) min (H)	4,4	artma	7,43	artma	5,56	artma	1,46	artma	26,06	azalma
10	min (C) min (Y) max (Akop)	0,82	artma	0,29	azalma	5,70	artma	0,937	azalma	3,67	azalma

*¹) Sözkonusu değişim, sadece maliyetin minimizasyonunun amaçlandığı 1 nolu modelin çözüm değerleri referans alınarak belirlenmiştir.

*²) Yumuşaklık değerinin artması kumaş yumuşaklığının azalması anlamına gelmekte olup aynı durum hidrofilite için de geçerlidir.

*³) Sözkonusu büyüklüklerde optimum değerlere göre değişim meydana gelmemiştir.

Çizelge 9.16.'nın devamı

Model No	Amaç	Maliyet (C)		Yumuşaklık (Y)		Atkı kopma mukavemeti (Akop)		Çözü kopma mukavemeti (Ckop)		Hidrofilite (H)	
		Değişim miktarı (%) ^{*1}	Değişim şekli	Değişim miktarı (%) ^{*1}	Değişim şekli ^{*2}	Değişim miktarı (%) ^{*1}	Değişim şekli	Değişim miktarı (%) ^{*1}	Değişim şekli	Değişim miktarı (%) ^{*1}	Değişim şekli ^{*2}
11	min (C) min (Y) max (Ckop)	_ ^{*3}	_ ^{*3}	_ ^{*3}	_ ^{*3}	_ ^{*3}	_ ^{*3}	_ ^{*3}	_ ^{*3}	_ ^{*3}	_ ^{*3}
12	min (C) min (Y) min (H)	4,05	artma	6,27	artma	6,69	artma	0,93	artma	23,6	azalma
13	min (C) max (Akop) max (Ckop)	1,64	artma	1,75	artma	5,2	artma	0,23	azalma	9,33	azalma
14	min (C) max (Akop) min (H)	4,4	artma	7,43	artma	5,56	artma	1,46	artma	26,06	azalma
15	min (C) max (Ckop) min (H)	4,4	artma	7,43	artma	5,56	artma	1,46	artma	26,06	azalma
16	min (C) min (Y) max (Akop) max (Ckop) min (H)	4,99	artma	8,1	artma	6,9	artma	1,46	artma	29	azalma

*1) Sözkonusu değişim, sadece maliyetin minimizasyonunun amaçlandığı 1 nolu modelin çözüm değerleri referans alınarak belirlenmiştir.

*2) Yumuşaklık değerinin artması kumaş yumuşaklığının azalması anlamına gelmekte olup aynı durum hidrofilite için de geçerlidir.

*3) Sözkonusu büyüklüklerde optimum değerlere göre değişim meydana gelmemiştir.

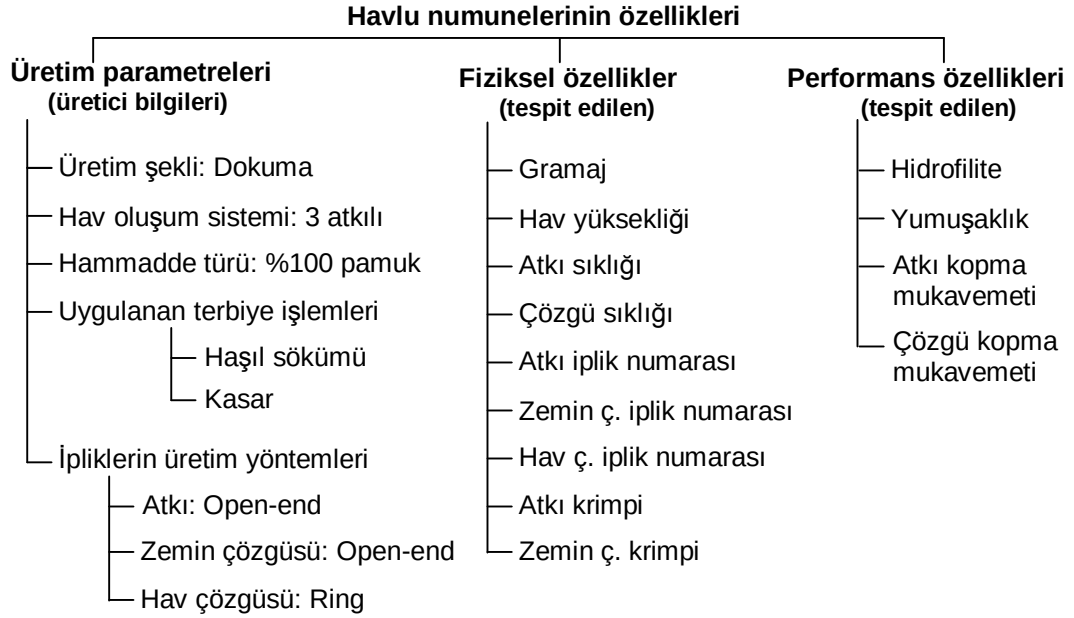
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

10.1. Çalışmanın Özeti

Çalışmada maliyetin ve/veya performans özelliklerinin maksimizasyonunun ve/veya minimizasyonunun amaçlandığı optimizasyon modelleri oluşturulması hedeflenmiştir. Sözkonusu modellerin oluşturulabilmesi için öncelikle istatistiksel analizler yardımıyla, havlu kumaşların seçilmiş fiziksel ve performans özelliklerini deneme üretimlerine gerek kalmadan tahmin etmeyi sağlayacak çeşitli eşitlikler elde edilmiştir. Bu doğrultuda çalışma kapsamında izlenen işlem aşamaları aşağıda adım adım özetlenmiştir.

1. Çalışmanın ilk aşamasında Gaziantep'te faaliyet gösteren SANKO HAVLU A.Ş. işletmesiyle görüşmeler yapılmış ve bu görüşmeler sonucunda işbirliği başlatılmıştır. Bu ortak çalışma çerçevesinde yerinde gözlemler, değerlendirmeler yapılarak ve işletme imkanları göz önünde bulundurularak farklı fiziksel özelliklere sahip çok sayıda havlunun üretimi gerçekleştirilmiş ve bunlardan 47 adedi deneysel çalışmada numune olarak kullanılmak üzere seçilmiştir.
2. Sözkonusu numune havlular dokuma işleminin ardından sabit proses şartlarında ön terbiye işlemine (haşıl sökümü ve kasar işlemleri) tabi tutulmuştur. Performans özelliklerinin aldığı değerler, renklendirme ve özelliklerde apre işlemlerinden dikkate değer oranda etkilendiğinden başka bir ifadeyle aynı fiziksel özelliklere sahip havluların apre işlemleri sonrası farklı performans özellikleri gösterebilmesi nedeniyle numune havlulara sadece ön terbiye işlemi uygulanmış, renklendirme ve apre uygulaması yapılmamıştır. Ayrıca renklendirme ve apre işlemleri sırasında kullanılan kimyasalların değiştirilmesi de havluların kullanım özelliklerini etkileyebilmektedir.
3. Dokunmuş ve ön terbiye işlemlerinden geçirilmiş havlulardan numune olarak seçilenlerin fiziksel özellikleri ve seçilmiş performans büyüklükleri standartlaştırılmış test yöntemleri esas alınarak deneysel olarak tespit edilmiştir. Sözkonusu deneysel çalışma Ç. Ü. Tekstil Müh. Bölümü laboratuvarlarında ve seçilmiş bir tekstil işletmesinde gerçekleştirilmiş olup kullanılan test yöntemleri

ve elde edile sonuçlar “Deneysel Çalışma ve Bulgular” bölümünde verilmiştir. Numunelerin test edilen fiziksel ve performans özellikleri ile seçilmiş bazı genel üretim parametreleri ise Şekil 10.1’de özetlenmiştir. Söz konusu üretim parametreleri üretimin gerçekleştirildiği işletmeden temin edilmiştir.

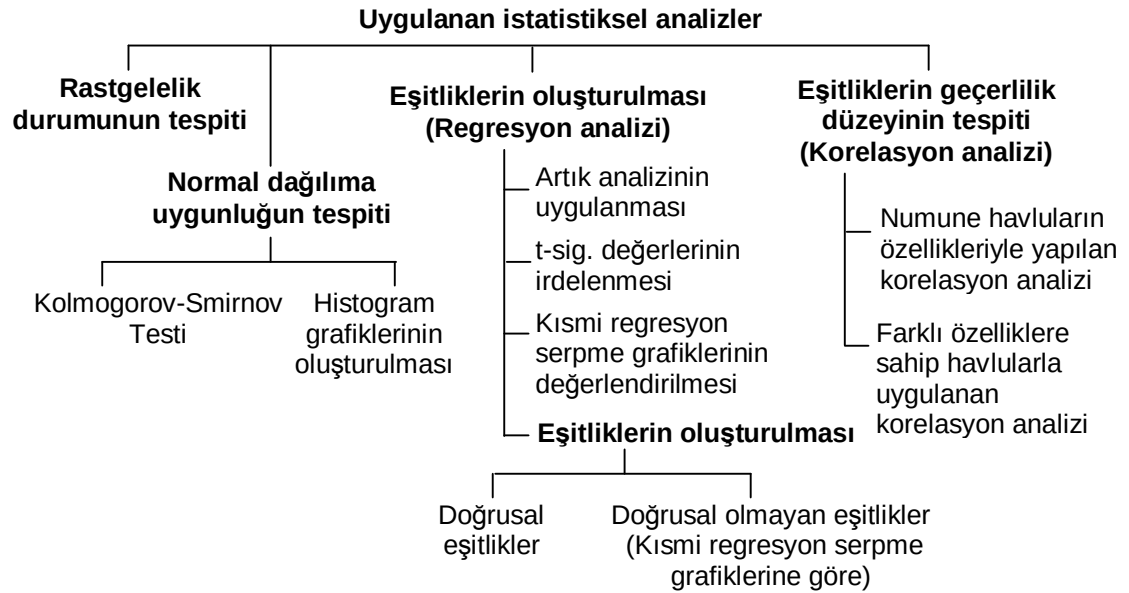


Şekil 10.1. Belirlenen numune havlu özellikleri

4. Herbir özellik için deneysel olarak tespit edilen değerler ayrı ayrı veri grubu olarak tanımlanmış ve istatistiksel testlere geçilmiştir. Çalışmanın öncelikli amacı regresyon denklemlerinin oluşturulması olup bu işlem parametrik testlerle gerçekleştirilmektedir. Bir veri grubuna parametrik testlerin uygulanabilmesi için normal dağılım göstermesi ve rastgele seçilmiş olması gerekmektedir. Şekil 10.2’de numunelerin fiziksel ve performans özelliklerine uygulanan istatistiksel analizler özetlenmiştir.

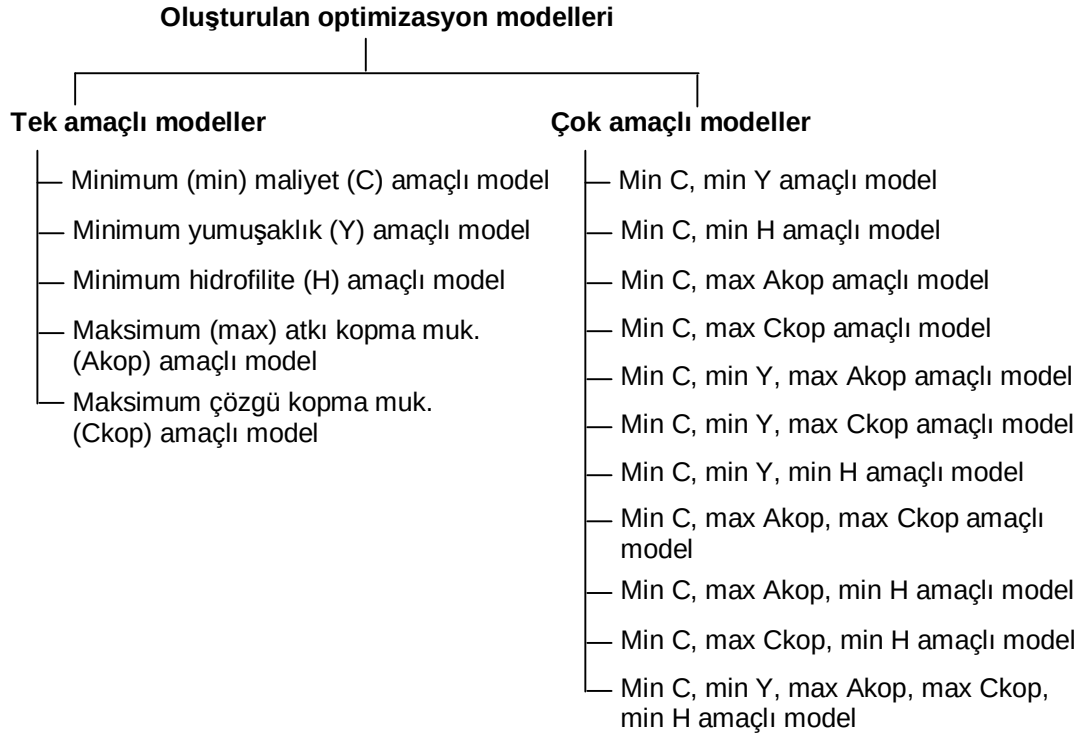
Şekilden de görüldüğü gibi regresyon analizi kapsamında uç değerlerin analizden çıkarılmasını sağlayan artık analizi uygulanmış, değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusallığının ölçüsünü veren t-testinin significant değerleri irdelenmiş ve kısmi regresyon serpmme grafikleri oluşturularak değerlendirilmiştir. Buna göre özellikle kısmi regresyon serpmme grafikleri esas alınarak doğrusal ve doğrusal

olmayan çeşitli eşitlikler oluşturulmuş ve eşitliklerin geçerlilik düzeyi korelasyon analizi ile test edilmiştir.



Şekil 10.2. Uygulanan istatistiksel analizler

5. Tez çalışmasının son aşamasında ise oluşturulan eşitliklerin kısıt olarak kullanıldığı, maliyetin ve/veya performans özelliklerinin optimizasyonunun amaçlandığı toplam 16 adet doğrusal olmayan (nonlinear) model oluşturulmuştur. Şekil 10.3'te görüldüğü gibi elde edilen modeller tek amaçlı ve çok amaçlı olarak gruplandırılabilir. Ancak burada maliyet minimizasyonunun amaçlandığı model “**ana model (temel model)**” olarak ifade edilmekte olup bu modelde sabit kabul edilen tezgah parametreleri ve işçilik, iplik vb. fiyat bilgilerinin değiştirilmesiyle modelin çözümünde (maliyet değerinde) meydana gelebilecek değişimler de irdelenmiştir.



Şekil 10.3. Oluşturulan optimizasyon modelleri

Yürütülen deneysel, istatistiksel çalışmalar ve oluşturulan modellerin çözümleri, irdelenmesi ve önemli sonuçları aşağıda verilmiştir.

10.2. İstatistiksel Çalışma Sonuçları

Havlu kumaşların deneysel olarak tespit edilen fiziksel özellikleri ile performans özelliklerine uygulanan, Şekil-10.2’de özetlenen istatistiksel analizler ile elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

1. Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi sonuçları ve oluşturulan histogram grafikleri birlikte değerlendirildiğinde zemin çözgü numarası (ZN) dışındaki tüm veri gruplarının normal dağılım veya normale yakın dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Numunelerin zemin çözgü numarası değerlerinin dar bir aralıkta değişmesi nedeniyle normal dağılım göstermediği düşünülmektedir.
2. RUNS testi sonuçlarına göre yine ZN dışındaki tüm veri gruplarının rasgele seçilmiş olduğu belirlenmiştir.

3. Her değişken grubuna ayrı ayrı uygulanan çoklu regresyon analizleri sonucu atkı sıklığı ve zemin çözgü iplik numarası için iki, atkı krimp için üç ve diğer fiziksel özellikler ve performans özelliklerinin tümü için birer eşitlik oluşturulmuştur. Söz konusu eşitliklerden seçilmiş 2 adedi aşağıda örnek olarak verilmiştir.

$$HY = -4,587 + 0,481 \cdot HN + 0,008783 \cdot G \quad (10.1)$$

$$R^2 = 0,940 \quad R_d^2 = 0,936$$

$$A_{kop} = 24,307 \cdot AS - 30,569 \cdot AN \quad (10.2)$$

$$R^2 = 0,994 \quad R_d^2 = 0,994$$

Burada (10.1) eşitliği havlu kumaşların hav yüksekliği (HY) değerinin deneme üretimlerine gerek kalmadan hav çözgü numarası (HN) ve gramaj (G) yardımıyla kolaylıkla tahmin edilebileceğini ifade etmektedir. Söz konusu eşitlik oluşturulurken öncelikle tüm fiziksel özellikler ele alınmış ve daha sonra bağımlı değişken (HY) ile arasındaki ilişki çok düşük düzeyde anlamlı olan veya doğrusal olmayan büyüklükler adım adım analizden çıkarılarak eşitlik son haline getirilmiştir.

Eşitliğe ait $R^2 = 0,940$ değeri, hav yüksekliğindeki değişimin %94'ünün açıklayıcı değişken olarak alınan HN ve G değişkenleri ile açıklanabildiğini, başka bir ifadeyle HY değerinin %94 doğruluk payıyla HN ve G değerleri kullanılarak tahmin edilebileceğini ifade etmektedir.

Modelin belirleyiciliğinin yorumlanmasında ilk başvurulacak değer olan R_d^2 'nin ise %93,6 olduğu ve bu nedenle oluşturulan eşitliğin oldukça yüksek bir geçerliliğe sahip olduğu anlaşılmaktadır.

4. Eşitliklerin oluşturulmasının ardından geçerlilik düzeyini belirlemek ve birden fazla eşitlik oluşturulan özellikler için en uygun eşitliği belirlemek amacıyla korelasyon analizi uygulanmış ve buna göre fiziksel özelliklerinin tümü için %99 güvenilirlikte anlamlı olduğu tespit edilen eşitlikler esas alınmıştır. Performans özelliklerini ifade eden eşitliklerde ise çözgü kopma mukavemeti eşitliğinin %95, diğerlerinin ise %99 düzeyinde güvenilir bir tahmin gücüne sahip olduğu

belirlenmiştir. Sözkonusu analiz sonuçları göz önünde bulundurularak modellerde kısıt olarak kullanılmak üzere her özellik için birer eşitlik seçilmiştir.

5. Seçilen eşitliklerin geçerliliği, çalışmada numune olarak kullanılan havluların dışında farklı fiziksel özelliklere sahip ve terbiye işlemi görmüş havlular kullanılarak da test edilmiştir. Sözkonusu havlu özelliklerinin eşitliklere taşınmasıyla tahmin edilen bağımlı değişken değerleri ile deneysel olarak belirlenen değerler arasında korelasyon analizi uygulanmış olup elde edilen sonuçlara göre fiziksel özellikler için modele kısıt olarak alınan tüm eşitliklerin yine %95 veya %99 güvenilrlikte geçerli oldukları tespit edilmiştir.

10.3. Kurulan Modellerin Çözümleriyle Elde Edilen Sonuçlar

Çalışmada 5'i tek amaçlı, geri kalanları çok amaçlı olmak üzere toplam 16 adet nonlinear optimizasyon modeli oluşturulmuş ve bu modellerin optimum çözümleri LINGO 8.0 optimizasyon yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kurulan tek amaçlı modellerde amaç, maliyetin veya seçilmiş bir performans özelliğinin kısıtlar doğrultusunda eniyilenmesi (optimizasyonu) olup bazı durumlarda aynı anda iki veya daha fazla amacın gerçekleştirilmesi gerekebilmektedir. Bu nedenle tek amaçlı modellerin yanı sıra maliyetin ve seçilmiş bir veya daha fazla performans özelliğinin aynı anda optimize edilmeye çalışıldığı çok amaçlı modellerin de oluşturulmasına ihtiyaç duyulmuştur. Oluşturulan modellerin çözümleriyle elde edilen çözüm raporlarının irdelenmesi sonucu belirlenen hususlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Belirli özelliklere sahip bir havlu kumaşın birim üretim maliyetinin minimum olması için fiziksel özelliklerin alması gereken değerleri belirlemek amacıyla geliştirilen temel model (ana model), birim havlu üretim maliyetini ifade eden amaç fonksiyonundan, fiziksel ve performans özellikler için alt ve üst limit değerlerinin yer aldığı kısıtlardan ve maliyet hesabında gerekli üretim parametrelerine girilen sabit değerlerden oluşmaktadır. Ana modelin çözümü sonucu, özellikleri kısıtların alt ve üst limit değerleri arasında olan bir havlunun üretileceği minimum maliyet değeri ve söz konusu özelliklerin aldıkları değerler

belirlenmektedir. Diğer modeller de aynı prensibe göre oluşturulmuş sadece amaç değiştirilmiştir.

2. Modellerde yeralan kısıtların sınır değerleri endüstride yaygın kullanılan ve literatür taraması ile tespit edilen veriler esas alınarak belirlenmiştir. Benzer şekilde tezgah ile ilgili parametreler ve fiyat bilgileri de internet taraması ve endüstriden alınan bilgiler ışığında seçilmiştir.
3. Oluşturulan modellerin tamamı nonlinear (doğrusal olmayan) bir yapıya sahip olup, bu durum modellerdeki amaç fonksiyonu ve/veya kısıt ifadelerinin bir kısmının doğrusal olmadığını ifade etmektedir. Söz konusu modellerin tümünde “Global optimum” çözüm elde edilmiş olup bu çözüm tipi nonlinear modellerde çok fazla ulaşılamayan bir sonuçtur ve genellikle “local optimum” çözüm bulunabilmektedir. Bir modelde global optimum çözüme ulaşılması halinde kısıtlar doğrultusunda sağlanabilecek en iyi çözümünün elde edilebildiği anlaşılmaktadır.
4. Çalışmada maliyetin kısıtlar doğrultusunda minimum olmasının amaçlandığı 1 nolu model “**ana/temel model**” olarak tanımlanmıştır. Temel modelin çözümü sonucu gramajı 566,3 gr/m², hav yüksekliği 8,5, atkı ve çözgü sıklıkları sırasıyla 37,2 ve 50,5 tel/2 cm vb. olan bir havlu kumaşın birim üretim maliyetinin 1,70 YTL olduğu tespit edilmiş olup bu değer modele girilen kısıtlar doğrultusunda sağlanabilecek minimum maliyet değeri olarak ifade edilebilmektedir. Ayrıca bu şartlarda gerçekleştirilen üretim ile elde edilen havlu kumaşın yumuşaklık değerinin 3,0 kg, Akop ve Ckop değerlerinin sırasıyla 595,9 N, 362,2 N ve hidrofilitesinin ise 50 sn olacağı çözüm raporundan görülmektedir.
5. Oluşturulan modellerde zemin çözgü numarası, tezgah hızı, tezgah verimi, tezgah eni, işçi başına düşen dokuma makinası sayısı, atkı, hav ve zemin çözgü ipliklerinin fiyatları, işçilik ücreti ve elektriğin birim fiyatı sabit kabul edilmiş ve çözüm için bu büyüklüklere birer değer verilmiştir. Ancak sabit olarak alınan bu büyüklükler değiştirilerek çözüm tekrarlanabilmekte ve böylelikle söz konusu parametrelerin günün şartlarına, ihtiyaçlara ve isteğe bağlı olarak değiştirilmesiyle amaç fonksiyonunda meydana gelecek değişim belirlenebilmektedir. Bu amaçla temel modelde söz konusu sabit değerler belirli

aralıklarda tek tek değiştirilerek birim kumaş üretim maliyetinde meydana gelen değişim irdelenmiştir. Yapılan bu değişiklikler sonucu fiziksel ve performans özelliklerinde ihmal edilebilir düzeyde değişim meydana geldiği görülmüştür.

6. Tezgah ile ilgili parametrelerdeki artış beklenen şekilde maliyette azalmaya neden olurken, üretim parametrelerinin fiyatlarındaki artışın maliyeti de arttırdığı tespit edilmiştir. Atkı ve zemin çözgü ipliklerinin fiyatlarının iki katına çıkarılması halinde birim üretim maliyetinde yaklaşık %11’lik bir artış görülürken hav çözgü ipliğinin fiyatı %100 arttırıldığında maliyette %37 oranında artış meydana geldiği belirlenmiştir. Bu durumun hav çözgü ipliği sarfiyatının diğer ipliklerden oldukça fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
7. Sabit büyüklüklerden işçi başına düşen makina sayısı ile maliyet arasındaki ilişkinin parabolik, bunun dışında kalan parametrelerin maliyet ile ilişkilerinin ise doğrusal veya doğrusala yakın olduğu tespit edilmiştir. İşçi başına düşen makina sayısının 4 ve daha fazla olması halinde ise maliyetin neredeyse değişmediği görülmüştür. Ancak makina sayısı arttıkça işçinin performansı ve buna bağlı olarak kumaş kalitesi düşebilmektedir. Bu nedenle maliyete çok ciddi bir etkisi olmadığından bir işçinin sorumlu olduğu makina sayısının ortalama olarak 4’ten fazla olmaması tavsiye edilebilmektedir. Bunun yanı sıra işçilik ücretindeki %100’lük artışın maliyeti sadece %0,97 oranında arttırdığı tespit edilmiştir.
8. Modellerin tümünün çözümlerinin birlikte değerlendirilmesi sonucu fiziksel özelliklerin aldıkları değerlerin dağılma aralıkları aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

Gramaj:	561-591 gr/m ²	Atkı numarası:	Ne 9-11,2
Hav yüksekliği:	8,3-9,4	Hav çözgü numarası:	Ne16,7-18,4
Atkı sıklığı:	37,1-37,5 tel/2cm	Atkı krimp:	% 16,7-17,7
Çözgü sıklığı:	49-52 tel/2cm	Zemin krimp:	%13,6-15,4

Yukarıda verilen değerlerden görüldüğü gibi modele girilen kısıtların sınır değerleri değişmediği sürece amaçtaki öncelikler değişse de fiziksel özelliklerin aldıkları değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu söylenebilmektedir. Sadece

gramaj ve hav yüksekliği değerlerinde bir miktar değişiklik olduğu tespit edilmiştir.

9. Yine bütün modellerin çözüm raporları değerlendirildiğinde atkı kopma mukavemetinin aldığı değerlerin 562,54-637,56 N, çözgü kopma mukavemeti değerlerinin 357,627-367,564 N, hidrofilite derecelerinin 35,41-50 sn, yumuşaklık değerlerinin ise 2,97-3,259 kg aralıklarında değiştiği tespit edilmiştir. Sonuçlara göre kısıtlar aynı kalmak şartıyla amacın değişmesi halinde özellikle atkı kopma mukavemeti ve hidrofilite değerlerinde dikkate değer bir değişim meydana geldiği söylenebilmektedir. Söz konusu değişimin gramaj ve hav yüksekliğinde değişiklik meydana gelmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
10. Oluşturulan modellere göre tek bir parametreye (maliyet veya herhangi bir performans özelliği) öncelik tanınması (maksimum veya minimum olmasının amaçlanması), diğer parametrelerin kısıtlarda verilen sınırlar içerisinde olmasının istenmesi halinde, ayrı ayrı oluşturulan modellerin sonuçlarına göre maliyet, yumuşaklık, atkı ve çözgü kopma mukavemetleri ve hidrofilite büyüklüklerinin kısıtlar doğrultusunda sahip olabilecekleri en iyi değerler;

maliyet	: 1,70 YTL
yumuşaklık	: 2,97 kg
atkı kopma mukavemeti	: 637,625 N
çözgü kopma mukavemeti	: 367,564 N
hidrofilite	: 35,35 sn

olarak tespit edilmiştir.

11. Modeller yardımıyla kısıtlar doğrultusunda her bir performans özelliğinin sahip olabileceği en iyi değerler ve optimum değerler belirlenmiştir. Sadece maliyet minimizasyonunun amaçlandığı model sonucu elde edilen optimum değerler irdelendiğinde, hidrofilite değerinde en iyi değere göre %41,1'lik artış (su emicilik derecesinde %41,1'lik azalma), atkı ve çözgü kopma mukavemetlerinde sırasıyla %6,5 ve %1,44 oranlarında azalma ve yumuşaklık değerinde ise %1,48'lik artış (yumuşaklık derecesinde azalma) olduğu tespit edilmiştir. Görüldüğü gibi maliyetin enküçüklenmesinin öncelikli amaç olması halinde seçilen bütün performans özelliklerinde kötüleşme meydana gelmiştir.

12. Tüm modellerin sonuçları değerlendirildiğinde, kısıtlar aynı kalmak şartıyla, amacın değiştirilmesi halinde yüzde olarak en fazla değişimin hidrofilite değerinde görüldüğü tespit edilmiştir. Genel olarak su emicilik değerinin minimum (hidrofilite derecesinin maksimum) olmasının amaçlandığı modellerde (5, 9, 12, 14, 15, 16 nolu modeller) hidrofilitede optimum değere göre en az %23 oranında iyileşme meydana gelirken, maliyet değerinde ise minimum %4'lük bir artış belirlenmiştir. Söz konusu modellerin tümünde gramaj değerlerinin 1 nolu ana modelle elde edilen gramajdan yüksek olduğu belirlenmiş olup gramajdaki bu artışın hidrofiliteyi iyileştirdiği düşünülmektedir.
13. Amacın sadece minimum yumuşaklık olduğu 2 nolu modelle elde edilen maliyet değerinin optimum maliyet değeriyle hemen hemen aynı olduğu, atkı kopma mukavemetinin maksimizasyonunun amaçlandığı 3 nolu model ile minimum hidrofilitenin hedeflendiği modelde (5 nolu model) maliyetin %4,99 oranında, 4 nolu modelde (amaç maksimum çözgü kopma mukavemeti) ise %4,2 oranında arttığı tespit edilmiştir.
14. Atkı kopma mukavemetinin maksimizasyonunun amaçlanması halinde, maliyetin %4,99 oranında arttığı, yumuşaklığın olumsuz, diğer özelliklerin olumlu etkilendiği görülmüştür. Özellikle hidrofilite değerinin %29 oranında azaldığı, başka bir ifadeyle su emicilik derecesinin % 29 arttığı belirlenmiştir. Bu durumun gramaj ve hav yüksekliğinin aldıkları değerlerde meydana gelen artıştan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, amacın minimum hidrofilite olması veya maliyet ile performans özelliklerinin tümünün aynı anda eniyilenmesinin amaçlanması halinde (16 nolu model), oluşturulan modellerin çözümüyle de aynı sonuçlara ulaşılmıştır.
15. Sadece çözgü kopma mukavemetinin maksimum yapılmasının istenmesi halinde, optimum değerlere göre maliyet %4,2 oranında artarken, çözgü kopma mukavemeti değeri sadece %1,46 oranında iyileşmiştir. Çözgü kopma mukavemetinde, maliyetteki artışa degecek bir iyileşme meydana gelmediğinden ve yumuşaklık %7,2 oranında kötüleştiğinden bu model çok fazla tercih edilebilir gibi görünmemektedir. Ayrıca tüm modellerde çözgü kopma mukavemetinin

aldığı değerlerin optimum değere oldukça yakın olduğu, maksimum %1,46'lık bir değişimin (artış veya azalış) gerçekleştiği belirlenmiştir.

16. Genel olarak atkı ve çözgü kopma mukavemetlerinin veya hidrofilitenin eniyilenmeye çalışılması halinde yumuşaklık değerinde yaklaşık %7-8 oranında artış, başka bir ifadeyle kumaşta sertleşme meydana gelebildiği tespit edilmiştir. Bu durum sözkonusu modellerde hav yüksekliğinin optimum hav yüksekliği değerine göre (ana model sonuçlarına göre) ortalama %10'luk bir artış göstermesinden kaynaklanabilmektedir. Hav yüksekliğindeki artış, kumaş kalınlığını artıracığından, kullanılan test yönteminin prensibi nedeniyle elde edilecek yumuşaklık değerini de artırmaktadır.

17. Sadece çok amaçlı modellerin sonuçlarının irdelenmesiyle elde edilen önemli hususlar aşağıda sıralanmıştır:

- Çok amaçlı modellerin tümünde amaç olarak seçilen, başka bir ifadeyle optimize edilmeye çalışılan büyüklükler modele eşit önem derecesine sahip olarak alınmıştır.
- Minimum maliyet ve minimum hidrofilite değeri ile maksimum atkı kopma mukavemetinin amaçlandığı 14 nolu model ile 1 nolu model sonuçları karşılaştırıldığında atkı kopma mukavemeti ve hidrofilitenin ana model sonuçlarına göre sırasıyla %5,5 ve %26 oranlarında iyileştiği, maliyetin %4,4 oranında arttığı ve yumuşaklığın ise %7,43 ile yüksek bir oranda kötüleştiği görülmektedir. Bu nedenle yumuşaklığın çok önemli olmadığı ancak hidrofilite ve kopma mukavemetinin öncelikli olarak ele alınması gereken durumlarda, bu modelin çözüm sonuçları dikkate alınarak üretim yapılması tavsiye edilebilmektedir.
- Maliyet ve performans özelliklerinin tümünün optimize edilmesinin amaçlandığı modelde (16 nolu model) ise maliyetin optimum değere göre yaklaşık %5, yumuşaklık değerinin %8,1 arttığı (kötüleştiği), atkı ve çözgü kopma mukavemetlerinin sırasıyla %6,9 ve %1,46 oranlarında iyileştiği ve hidrofilitenin %29 azaldığı (emiciliğin arttığı) tespit edilmiştir. Bu durumda yumuşaklık ve maliyetteki olumsuz, atkı kopma mukavemeti ve

hidrofilitedeki olumlu değişimler göz önünde bulundurularak uygun bir tercih yapılmalıdır.

- Maliyet ve yumuşaklığın birlikte minimize edilmeye çalışıldığı 6 nolu model sonucu maliyet ve yumuşaklıkta optimum değerlere göre sırasıyla %0,176 artış ve %1,32 azalma (iyileşme), çözgü kopma mukavemetinde ise %1,14 düşüş şeklinde değişiklik olduğu belirlenmiştir. Bunlara çözgü kopma mukavemetinin (Ckop) maksimizasyonunun da ilave edilmesiyle oluşturulan 11 nolu modelde ise optimum değerlerle aynı sonuçlar elde edilmiştir. 6 nolu modelde maliyet ve yumuşaklık değerlerinde ihmal edilebilecek kadar düşük oranda artış meydana geldiğinden, bu modelin amaçları arasına Ckop'un maksimizasyonu da ilave edildiğinde yumuşaklıktaki iyileşme kaybedilerek optimum değere erişilmiş ve Ckop değerinde yukarıda bahsedilen %1,14'lük azalma da yok olarak başka bir ifadeyle iyileşerek optimum değere yükselmiştir.

10.4. Genel Değerlendirme

1. Yürütülen teorik yaklaşımla, çalışma kapsamında seçilmiş fiziksel özellikler ve performans büyüklükleri için oluşturulan eşitlikler kullanılarak sözkonusu özelliklerin üretim öncesi yüksek güvenilirlikte tahmin edilmesi mümkün olabilmektedir. Bu eşitlikler oluşturulurken mümkün olduğunca farklı özelliklerde ipliklerle dokunmuş, farklı fiziksel özelliklere sahip havlular numune olarak seçilmiş ve böylelikle eşitliklerin geçerlilik alanı genişletilmeye çalışılmıştır.

Ayrıca numune olarak kullanılan havluların dışında, terbiye işlemi görmüş havluların fiziksel özellikleri kullanılarak da eşitliklerin geçerliliği kontrol edilmiştir. Bu amaçla renklendirilmiş ve apre işlemlerinden geçirilmiş havluların fiziksel özelliklerinin denklemlere taşınmasıyla elde edilen değerlerle, deneysel olarak belirlenen değerler korelasyon analizi ile karşılaştırılmış ve sonuçlar “İstatistiksel Çalışmalar ve Sonuçlar” bölümünde verilmiştir. Bu sonuçlara göre fiziksel özellikler için oluşturulan eşitliklerin, sadece ön terbiye işlemi görmüş

kumaşların dışında farklı yöntemlerle renklendirilmiş ve apre işlemlerinden geçirilmiş kumaşlar için de geçerli olabildiği belirlenmiştir.

Ancak performans özellikleri apre işlemlerinden önemli düzeyde etkilendiğinden, çalışma kapsamında performans özellikleri için oluşturulan eşitliklerin, mamul havlu kumaşlar (tüm terbiye işlemlerinden geçirilmiş havlular) için de geçerli olduğu söylenememektedir.

2. Oluşturulan optimizasyon modellerinin tamamında **global optimum çözümün** bulunması kısıtlar doğrultusunda sağlanabilecek en iyi çözümün elde edildiğini göstermekte olup, bu çözüm tipi modelin güvenilirliğinin bir göstergesi olarak da değerlendirilebilmektedir. Maliyet minimizasyonunun amaçlandığı model ile maliyet değeri 1,702 YTL olarak elde edilmiştir. Havlu üretimi gerçekleştiren işletmelerle yapılan görüşmelerden 1 m² ham havlu kumaşın üretim maliyetinin ortalama olarak 1,5-2 YTL aralığında değiştiği belirlenmiş olup çalışma kapsamında elde edilen maliyetin de (1,702 YTL) bu aralığa düştüğü görülmektedir. Böylelikle geliştirilen model ile elde edilen teorik maliyet değerinin pratikte elde edilen değerlerle uyduğu söylenebilmektedir.
3. Sonuç olarak çalışma kapsamında, kısıtlar ve sınır değerleri değiştirilmeden önceliklerin başka bir ifadeyle maksimizasyonu ve/veya minimizasyonu amaçlanan büyüklük/büyüklüklerin değiştirilmesi ile elde edilen modellerin çözüm raporları irdelenerek işletmenin veya yöneticinin uygun bir tercih yapması ve üretimi bu doğrultuda gerçekleştirmesi mümkün olabilmektedir.

Örneğin; işletme için maliyetin yanı sıra üretilecek havlunun hidrofilitesi de önemliyse, 9 nolu model seçilerek, bu modelin verdiği fiziksel özelliklere göre üretim yapılması tavsiye edilebilmektedir. Bu durumda modele sabit olarak alınan tezgah parametreleri ve fiyat bilgileri girildikten ve kısıtların sınır değerleri belirlendikten sonra model çalıştırılmaktadır. Elde edilen çözüm raporuna göre, kısıtlar doğrultusunda hidrofilite ve maliyet değerleri minimum olacak bir havlu kumaş üretimi için kullanılması gereken fiziksel özellikler (sıklıklar, hav yüksekliği, gramaj vb.) ve sözkonusu üretim ile elde edilecek havlu kumaşın seçilmiş performans özellikleri (yumuşaklık, hidrofilite, atkı ve çözgü kopma dayanımları) üretime geçmeden belirlenmiş olabilmektedir.

10.5. Öneriler

Çalışmada ön terbiye işleminden geçirilmiş ancak renklendirme ve apre işlemleri uygulanmamış, dokunmuş havlu kumaşlar esas alınmış ve bu özelliklerdeki havluların üretim maliyetini ve performans özelliklerini optimize edecek model çalışmaları yürütülmüştür. Ancak bu çalışma esas alınarak gerçekleştirilebilecek diğer araştırma önerileri de burada maddeler halinde sunulmuştur.

- Çalışmada kullanılan numuneler %100 pamuk iplikleriyle ve 3 atkılı hav oluşturma sistemiyle dokunmuş olup, ipliklerin hammaddesi veya hav oluşum prensibi farklı (4 atkılı sistem vb.) numuneler kullanılarak havluların fiziksel ve performans özelliklerini üretim öncesi tahmin etmek amacıyla kullanılabilecek yeni eşitlikler oluşturulabilir.
- Oluşturulan maliyet minimizasyonu modeli nonlineer olduğundan **duyarlılık analizi** uygulanamamıştır. Söz konusu analiz, daha önce de açıklandığı gibi çözüm takımı değişmeden, modelde yeralan kısıtların sağ taraf sabitlerinde veya amaç fonksiyonundaki değişkenlerin katsayılarında ne kadarlık bir değişimin yapılabileceğinin belirlenmesi amacıyla uygulanmaktadır. Ancak bu uygulama, bilindiği gibi doğrusal olmayan modellerde gerçekleştirilememekte veya güvenilir sonuçlar elde edilememektedir. Bu nedenle, duyarlılık analizi yerine, oluşturulan modellerde yeralan kısıtların sınır değerleri belirli aralıklarla değiştirilerek tekrarlanan çözümler sonucu, fiziksel ve performans özellikleriyle maliyet değerinde meydana gelebilecek değişimlerin adım adım irdelenerek araştırılabileceği bir metod adapte edilebilecektir.
- Çalışmada oluşturulan eşitliklerin geçerliliğinin korelasyon analizi ile kontrol edilmesi ve kurulan modellerde **global optimum çözümün** bulunması nedeniyle sonuçların güvenilir olduğu belirlenmiştir. Ancak yine de kontrol amacıyla, ana modelin çözümü sonucu elde edilen fiziksel özelliklere sahip havlu kumaş üretimi gerçekleştirilerek, birim ham kumaş maliyeti ve performans özellikleri belirlenip model sonuçlarıyla karşılaştırma yolu çok zor olmasına rağmen izlenebilir. Bu aşamada, tez kapsamında yürütülen çalışmaların yoğunluğu ve yeterli güvenilirlikte data elde edilmesi nedeniyle, böyle bir karşılaştırma yolu seçilmemiştir.

- Çalışma kapsamında oluşturulan çok amaçlı modellerde optimizasyonu amaçlanan özellikler modele aynı önem derecesinde alınmıştır. Ancak özelliklerden birine veya birkaçına daha fazla öncelik tanınarak da modeller oluşturulabilmektedir. Örneğin; yumuşaklık ile maliyetin aynı anda optimize edilmeye çalışıldığı modelde maliyet %60, yumuşaklık %40 oranında etkili olacak şekilde bir model oluşturulup çözümü gerçekleştirilebilir. Buna göre amacı oluşturan özelliklerin çözümdeki önceliklerinin eşit olmadığı çok amaçlı modellerde oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

- ADBY, P. R., DEMPSTER, M. A. H., 1974. Introduction to Optimization Methods. Chapman and Hall, New York.
- AKGÜL, A., ÇEVİK, O., 2003. İstatistiksel Analiz Teknikleri-SPSS'te İşletme Uygulamalar. Emek Ofset, Ankara.
- ALOB KÖKSAL, B., 1998. İstatistik Analiz Metodları. Çağlayan Kitabevi, 572 s., İstanbul.
- ANİŞ, P., 1989. Havlu Kumaşlarda Dokuma Strüktürlerinin Bilgisayarda Modellenerek Kumaş Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- ANON, 1972. Effect of Repeated Application of Home Softeners Upon Absorbency and Other Properties of Terry. Textile Chemist and Colorist, V: 4, N:1, P: 49-54.
- BİLGE, F. A., 2000. Dokuma Kumaş Üretiminde Üretim Maliyeti Bilgilerinin Etkili Bir Kontrol ve Karar Aracı Olarak Kullanılacağı Bir Sistemin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- BOOTH, J. E., 1968. Principles of Textile Testing. The Butterworth Group & Co. Ltd., United Kingdom.
- BOZGEYİK, K., 1991. Havlularla İlgili Kalitatif Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- CARY, R.T., SPROLES, G. B., 1975. Absorbency of Terry Towels:A Comparative Evaluation of Test Methods. Textile Research Journal, V:49, N:12, P:691-698.
- CHEN, X., LEAF, G. A. V., 2000. Engineering Design of Woven Fabrics for Specific Properties. Textile Research Journal, V:70, N:5, P:437-442.
- CHONG, E. K. P., STANISLAW, H. Z., 1996. An Introduction to Optimization. John Wiley & Sons, Inc., U.S.A.

- DURU BAYKAL, P., 2003. Karışım İpliklerin Mekanik Özelliklerinin Tahmin Edilmesi ve Karışımın Optimizasyonu. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- 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, N:1, P: 1-8.
- EREL, Z., 1988. Türk Pamuklu Tekstil Endüstrisinde Maliyet Analizleri ve Bilgisayara Dayalı Uygulama Örnekleri. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, İzmir.
- EREN, R., ALPAY, H.R., KARAHAN, M., 2004. Havlu Dokuma Teknolojisi, Üretim Parametreleri ve Son Gelişmelerin Değerlendirilmesi. Tekstil&Teknik Dergisi, Sayfa:188-202, Aralık.
- EREN, R., ALPAY, H.R., KARAHAN, M., 2005. Havlu Dokuma Makinelerinde Hav Oluşturma Mekanizmaları ve Son Gelişmelerin İncelenmesi. Tekstil&Teknik Dergisi, Sayfa: 270-279, Ocak.
- FRONTCZAK-WASIAK, I., SNYCERSKI, M., 2004. Use Properties of Terry Woven Fabrics. Fiber&Textiles in Eastern Europe, Vol:12, No:1, P:40-44.
- FRYDRYCH, I., MATUSIAK, M., 2003. Changes in Fabric Handle Resulting from Different Fabric Finishing. Fiber&Textiles in Eastern Europe, Vol:11, No:2(41), P:42-47.
- FRYDRYCH, I., 1997. Model of Cotton Yarn Structure and its Consequences for Yarn Strength Predicting. World Conference of the Textile Institute, V:2, P:286-287.
- GAMGAM, H., EKNİ, M., 1999. Tekrarlı Ölçümler Durumunda Doğrusal Regresyon Modellerinde R^2 Üzerine Bir Çalışma. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt:12, Sayı:3, Sayfa:523-530.
- GÖKSEL, İ., 1987. Havlu Dokuma Kumaşların Yapısı. Tekstil ve Teknik Dergisi, 30-36.
- GREIG, D. M., 1980. Optimisation. Longman Group Limited, U.S.A.

- İMER, Z., 1999. Atkı Sıklığının Bazı Kumaş Özelliklerine Etkisinin Pamuklu Kumaşlar Üzerinde İncelenmesi. *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, Sayı:4, 316-320.
- JEON, B. S., CHUN, S. Y., HONG, C. J., 2003. Structural and Mechanical Properties of Woven Fabrics Employing Peirce's Model. *Textile Research Journal*, Vol:73 (10), Page: 929-933.
- KADOĞLU, H., 1993. Open-End Rotor İpliklerinde İplik Özellikleri ile Lif Özellikleri Arasındaki Fonksiyonel Özelliklerin Tahminlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- KARA, İ., 1986. Yöneylem Araştırması-Doğrusal Olmayan Modeller. Anadolu Üniversitesi Basımevi, Eskişehir.
- KARAHAN, M., EREN, R., ALPAY, H. R., 2005. An Investigation into the Parameters of Terry Fabrics Regarding the Production. *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, V:13, N:2 (50), P: 20-25.
- KARAHAN, M., EREN, R., 2006. Experimental Investigation of the Effect of Fabric Parameters on Static Water Absorption in Terry Fabrics. *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, Vol:14, No:2 (56), P: 59-63.
- KINNEAR, P.R., COLIN, D.G., 1995. SPSS for Windows Made Simple. Lawrence Erlbaum Associates, UK.
- KOÇ, E., ZERVENT, B., 2005. Havlular ve Havlu Kumaşlar II-Dokuma İşlemi ve Makinaları. *Tekstil Teknoloji Dergisi*, Sayı:105, 188-197.
- KOÇ, E., ZERVENT, B., 2006. An Experimental Approach on the Performance of Towel-Part I: Bending Resistance or Softness Analysis. *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, January/March, Vol:14, No:1 (55), Page:39-46.
- KOTHARI, V. K., CHITALE, A., 2003. Tensile Properties of Single and Two-ply Cotton Yarn Woven Fabrics. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, Vol:28, No:1, 29-35. March.
- KURTÇA, E., 2001. Atkı İpliği Özellikleri, Sıklık ve Örgü Tipinin Kumaş Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 64 sayfa, Ekim, İstanbul.

- LEAF, G.A.V., CHEN, Y., CHEN, X., 1993. The Initial Bending Behaviour of Plain-Woven Fabrics. *Journal of the Textile Institute*, V: 84, N: 3, P: 419-428.
- MAJUMDAR, P. K., MAJUMDAR, A., 2004. Predicting the Breaking Elongation of Ring Spun Cotton Yarns Using Mathematical, Statistical and Artificial Neural Network Models. *Textile Research Journal*, V:74, N:7, P:652-655.
- MORINO, H., MATSUDAIRA, M., FURUTANI, M., 2005. Predicting Mechanical Properties and Hand Values from the Parameters of Weave Structures. *Textile Research Journal*, V:75 (3), P:252-257.
- MORRIS, P. J., RENNEL, R. W., MERKIN, J. H., 1997. Modeling of Yarn Geometry: Yarn Hairiness. *Mathematical Engineering in Industry*, 6(3), 221-232.
- ÖZAK, Ö., 1990. Pamuklu Tekstil Endüstrisinde Maliyet Analizleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- ÖZDAMAR, K., 2002. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi-1 SPSS-MINITAB. Kaan Kitabevi, Eskişehir.
- ÖZGAN, Ş. S., 1995. Dokuma Üretim Maliyetini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- ÖZTÜRK, A., 1997. Yöneylem Araştırması. Ekin Kitabevi, Bursa.
- PRIMACHENKO, B. M., PROKHOROVA, I. A., 2003. Effect of Structural Parameters on the Breaking Strength of Woven Cotton Fabrics. Elsevier Science (www.scopus.com).
- RATNAM, T. V., SHANKARANARAYANA, K. S., UNDERWOOD, C., GOVINDARAJULU, K., 1968. Prediction of the Quality of Blended Yarns from that of the Individual Components. *Textile Research Journal*, 38, 360.
- ROE, A., 1997. User's Guide for LINDO and LINGO. USA.
- SABIR, E.C., 2000. Ring ve Open-End İplik Üretim Sistemlerinde Üretim Planlaması İçin Doğrusal Programlama Yaklaşımı ve Endüstriyel Uygulaması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.

- SAGBAŞ, A., 1997. Pamuk Elyaf Karışımlarında Tepki Yüzeyleri ve Tasarımları Yöntemiyle Süreç Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- SAVILLE, B. P., 1999. Physical Testing of Textiles. Woodhead Publishing Ltd., USA.
- SHAHPURWALA, A.A, SCHWARTZ, P., 1989. Modeling Woven Fabric Tensile Strength Using Statistical Bundle Theory. Textile Research Journal, V:59, N:1, P:26-32.
- SHUSTOV, Y. S., 2002. The Breaking Strenght of Woven Cotton Fabrics as a Function of the Structural Factors. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, No:4-5, 18-20 (www.scopus.com).
- SİPAHİOĞLU, A., SARAÇ, T., 2002. LINGO 6.0 Kullanım Kılavuzu. Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
- SUNGSHIN, K., HYUNG, L. M., 1999. Intelligent Approach to Integrated Optimization and Control of Textile Processes. IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, V:3, P:1908-1913.
- SWANI, N. M., HARI, P. K., ANANDJIWALA, R., 1984. Performans Properties of Terry Towels Made From Open-end and Ring-Spun Yarns. Indian Journal of Textile Research, V: 9, N: 3, P: 90-94.
- TABACHNICK, B. G., FIDELL, L. S., 2001. Computer-Assisted Research Design and Analysis. Allyn and Bacon, USA.
- TAHA, H. A., 2000. Yöneylem Araştırması. Literatür Yayıncılık Dağıtım Paz. San. ve Tic. Ltd. Şti., 910 s., İstanbul.
- TAN, F., 1989. Dokuma Kumaşların Üretiminde Optimizasyon İçin Bir Bilgisayar Modelinin Hazırlanması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı, Bursa.
- THORNBURG, K., HUMMEL, A., 2006. LINGO 8.0 TUTORIAL. <http://www.icaen.uiowa.edu/~ie166/Private/Lingo.pdf>
- TİNLİ, T., 2005. Yöneylem Araştırması. Yıldız Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, <http://www.ce.yildiz.edu.tr/mygetfile.php?id=431>.

- TÜLÜCÜ, K., 1997. Optimizasyon (Doğrusal Programlama). Çukurova Üniversitesi Yayınevi, Adana.
- URAL, A., KILIÇ, İ., 2005. Bilimsel Araştırma Süreci ve SPSS ile Veri Analizi. Detay Yayıncılık, Ankara.
- WU, J., PAN, N., 2005. Grab and Strip Tensile Strengths for Woven Fabrics: An Experimental Verification. Textile Research Journal, Vol:75, No:11, 789-796.
- YAZICIOĞLU, Y., ERDOĞAN, S., 2004. SPSS Uygulamalı Bilimsel Araştırma Yöntemleri. Detay Yayıncılık, Ankara.
- YELKEN, N., 1967. Pamuklu Tekstil Endüstrisinde Birim Maliyetlerin Kalkülasyonu. Doktora Tezi, İzmir.
- YILMAZ, N. D., POWELL, N. B., 2005. The Technology of Terry Towel Production. Journal of Textile and Apparel Technology and Management, V:4, N:4, P:1-43.
- ZERVENT, B., 2002. Havlu Üretimi ve Ürün Kalitesine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- ZERVENT, B., ÇELİK, N., KOÇ, E., 2003. Havlu Dokuma İşlemleri ve Üretim Hesapları. Tekstil Maraton Dergisi, Sayı:66, Mayıs-Haziran, Sayfa:54-60.
- ZERVENT, B., KOÇ, E., 2006. An Experimental Approach on the Performance of Towel-Part II: Degree of Hydrophility and Dimensional Variation,. Fibres&Textiles in Eastern Europe, April/June, Vol:14, No:2(56), Page:64-70.
- TS 240 EN 20139, Kasım 1995. Tekstil-Kondüsyonlama ve Deneyler İçin Standart Atmosfer Şartları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 250 EN 1049-2, Şubat 1996. Tekstil Dokunmuş Kumaşlar-Yapı Analiz Metotları-Kısım 2-Birim Uzunluktaki İplik Sayısının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 251, 1992. Dokunmuş Kumaşlar-Birim Uzunluk ve Birim Alan Kütlesinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 253, 1993. Tekstil-Kumaşlar-Dokunmuş-Kopma Mukavemeti ve Uzama Tayini-Şerit (Strip) Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS 254, 1989. Kumaştaki İpliğin Kısılma Oranının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 255, 1989. Dokunmuş Kumaşlar - İmal Tarzı - Analiz Metotları - Kumaştan Çıkarılan İpliğin Doğrusal Yoğunluğunun Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 629, 1991. Havlular ve Havlu Kumaşlar. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 866, 1985. Kasarlı Pamuklu Tekstil Mamullerinin Su Emme Özelliğinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 6349, 1989. Doku Planı, Tahar, Taraktan Geçirme ve Gücü Hareket Sırası Gösterme Metotları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- ASTM D 4032-94, 2001. Standard Test Method for Stiffness of Fabric by the Circular Bend Procedure. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.
- EN ISO 13934-1, Şubat 2002. Tekstil-Kumaşların Gerilme Özellikleri-Bölüm 1: En Büyük Kuvvetin ve En Büyük Kuvvet Altında Boyca Uzamanın Tayini- Şerit Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Vamatex kataloğu, 2005.
- Smittextile kataloğu, 2005.
- www.sdlatlas.com, internet web sitesi, erişim tarihi: 2006.
- www.ayganteks.com, internet web sitesi, erişim tarihi: 2006.
- www.lindo.com, internet web sitesi, erişim tarihi: 2006.
- www.itkib.org.tr, internet web sitesi, erişim tarihi: 2006.
- www.igeme.gov.tr, internet web sitesi, erişim tarihi: 2006.
- www.lenzing.com, internet web sitesi, erişim tarihi: 2006.

ÖZGEÇMİŞ

- Adı-Soyadı** : Belkıs ZERVENT ÜNAL
- Doğum Yeri** : İskenderun
- Medeni Hali** : Evli
- Öğrenim** : **Lisans:** Çukurova Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü (1994-1998)
- Yüksek Lisans:** Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı (1999-2002)
- Doktora:** Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı (Eylül 2002-)
- İş Tecrübeleri** : Hateks Hatay Tekstil İşletmelerinde Kalite - Kontrol ve Planlama Şefliği (Temmuz 1998-Haziran 2000)
- Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında Araştırma Görevliliği (Haziran 2000-Kasım 2001)
- Çukurova Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevliliği (Kasım 2001- bu göreve hala devam edilmektedir)