

**KAĞIT ENDÜSTRİSİNDE İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL
UYGULAMALARI**

Ulvi BEYTEKİN

**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

ZONGULDAK

Şubat 2010

KABUL:

Ulvi BEYTEKİN tarafından hazırlanan “KAĞIT ENDÜSTRİSİNDE İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL UYGULAMALARI” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 03.02.2010

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Rifat HACIOĞLU (ZKÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Hamit AYDIN (ZKÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Ayten GENÇ (ZKÜ)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım./...../2010



Prof. Dr. Kemal BÜYÜKGÜZEL
Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Ulvi BEYTEKİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAĞIT ENDÜSTRİSİNDE İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL UYGULAMALARI

Ulvi BEYTEKİN

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Rifat HACIOĞLU

Şubat 2010, 85 sayfa

Kağıt endüstrisinde kaliteyi artırmak amacıyla; prosesin kontrol altında olup olmadığının ve kaliteyi etkileyen baskın değişkenlerin araştırılması önemlidir. Bu çalışmada öncelikle kağıt kalite kriterleri ve bunları etkileyen değişkenler (proses parametreleri) belirlenmiştir. Analiz aşamasında gerçek bir kağıt fabrikasının verilerinden yararlanılmış ve ilk olarak prosesin kararlılığını test etmek amacıyla Tek Değişkenli (X – Kartı) ve Çok Değişkenli Kontrol Kartları (T^2 – Kartı) kullanılmıştır.

Kontrol Kartları uygulamasının, kağıt üretim prosesinin izlenmesinde, son derece etkin bir araç olduğu yapılan örnek çalışma ile açık biçimde ortaya konmuştur. Kontrol dışı durumların oluşmadan önce ya da oluşuktan sonra kolayca tespit edilebildiği gözlenmiştir. Bu sayede, kontrol kartları tarafından ikaz edilen özel sebeplerin araştırılması ve ortadan kaldırılması ile, prosesin daha etkin biçimde çalıştırılabileceği görülmüştür.

ÖZET (devam ediyor)

Çoklu Regresyon Analizi'nde hesaplanan en yüksek regresyon katsayıları; Nişasta, Sarsıntı Numarası, Patlama Endeksi, Uzama ve Yırılma Endeksi değişkenlerine işaret etmektedir. Bu durum literatürle ve verilerin kullanıldığı kağıt fabrikasındaki deneyimle büyük ölçüde uyumaktadır. Korelasyon Analizi sonucunda ise, temel kalite kriteri ile yüksek ilişkiye sahip olan değişkenler şu şekilde sıralanmıştır: Patlama Endeksi, Nişasta, Toplam DKR Enerjisi, Uzama, Yırılma Endeksi, Jet/Elek Oranı ve Hamur Kasası Kuru Madde Oranı. Bu sonuçlar da literatürle bire bir uyum içindedir. Baskın parametrelerin meydana çıkarılmasında Temel Bileşen Analizi (TBA) ile faydalı sonuçlar elde edilememiştir. Elde edilen temel bileşen katsayıları, baskın parametrelere işaret etmek anlamında, ne literatürle ne de verilerin kullanıldığı kağıt fabrikasındaki deneyimle örtüşmemiş; parametrelerin tamamı, bileşenlerin birinde pozitif ilişki sergilerken diğerinde negatif ilişki sergilemiş ve şiddetleri ciddi oranlarda değişkenlik göstermiştir. Ancak TBA sonuçlarının prosesdeki değişkenliğin sebeplerini anlamada faydalı olabileceği neticesine ulaşılmıştır. TBA'da, on altı adet bağımsız değişkeni %91 oranında ifade edebilmek, ancak on bir adet bağımlı değişken (temel bileşen) ile mümkün olmuştur. Bu durum pratik bir fayda sağlamamıştır.

Son olarak, analiz sonuçlarından hareketle, fabrikadaki kalite geliştirme çalışmalarına katkı sağlamak üzere çeşitli tavsiyeler geliştirilmiştir. Bunlar arasında; kağıdın uzamanın azaltılması, nişasta kullanımının artırılması ve düşük kesafetli öğütüm enerjisinin yükseltilmesi ön plana çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Kraft torba kağıdı, kontrol kartları, çoklu regresyon analizi, korelasyon analizi, temel bileşen analizi, istatistiksel proses kontrol.

Bilim Kodu : 609.03.00

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

STATISTICAL PROCESS CONTROL APPLICATIONS IN PAPER INDUSTRY

Ulvi BEYTEKİN

Zonguldak Karaelmas University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

Thesis Advisor: Asst. Prof. Rifat HACIOĞLU

February 2010, 85 pages

It is important to determine whether the process is in control or not and find out the effective variables in manufacturing of high quality products in paper industry. In this thesis, first of all, prominent quality criteria and affecting variables (process parameters) have been specified. Routine measurements from a paper mill have been used and both Univariate (\bar{X} - Chart) and Multivariate Control Charts (T^2 - Chart) have been applied to check the stability of the process in the first step. Later on, gathered data have been analysed by the help of Multiple Regression Analysis (MRA), Correlation Analysis (CA) and Principal Component Analysis (PCA) to find out the dominant variables among plenty of the others.

With the help of control charts derived from real mill data, it has been shown that control charts are so powerful to monitor the manufacturing process. It can easily be detected on the control charts either the process is out of control or seems to be soon. By the alarm from the charts assignable causes can be investigated and eliminated, so process can promote to a more efficient state.

ABSTRACT (continued)

In MRA following variables have been determined as dominant: Starch, Shake Number, Bursting Strength, Stretch and Tearing Strength. These findings are consistent with both the literature and the experience at the paper mill to show dominating variables. At the end of CA it has been found that the variables having the highest relation with main quality criterion are as follows: Bursting Strength, Starch, Total Net Specific Energy of Low Consistency Refiners (LCR), Stretch, Tearing Strength, Jet/Wire Ratio and Headbox Consistency. CA results conform with the literature. PCA did not perform well determining dominant variables. The coefficients were pointing negative direction in some of the principle components and positive direction in others. Also the magnitudes were changing too much up and down. However, after several discussions with the mill staff, it has been agreed that PCA results can be used to understand the variation in the process. 91 percent of the total variation of sixteen independent variables could be expressed by eleven dependent variables (principle components). This is not a success in terms of data reduction.

While evaluating the results of the analyses several recommendations have been developed to contribute quality improvement activities in the mill. Among them; decreasing paper stretch, increasing unit starch consumption and raising low consistency refiners' net specific energy were outshining.

Key Words : Kraft sack paper, control cards, multiple regression analysis, correlation analysis, principal component analysis, statistical process control.

Science Code: 609.03.00

TEŐEKKÖR

Bu çalışmanın ortaya çıkmasındaki katkısı için Yrd. Doç. Dr. Rıfat HACIOĞLU'na, bilimsel çalışmaları destekleyici yaklaşımı nedeniyle OYKA Genel Mődőrő Sn. Aytekin R. KADIOĞLU'na ve tőketemediĐim sabrından dolayı eőim Nermin BEYTEKİN'e teőekkőr ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL.....	3
2.1 NEDEN İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL	3
2.2 İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL NEDİR	5
2.2.1 İstatistiksel Proses Kontrolün Kısa Tarihçesi	5
2.2.2 İstatistiksel Proses Kontrolün Temel Araçları	5
2.2.2.1 İstatistiğin Temel Kavramları	7
2.2.2.2 Kontrol Kartları.....	8
2.2.2.3 Çok Değişkenli Kontrol Kartları.....	11
2.2.2.4 Histogram Grafikleri	12
2.2.2.5 Pareto Analizi.....	14
2.2.2.6 İleri Teknikler	14
2.3 ÇOKLU REGRESYON ANALİZİ VE KORELASYON ANALİZİ.....	14
2.4 TEMEL BİLEŞEN ANALİZİ	16
2.5 PROBLEMİN TANIMLANMASI VE ÇÖZÜM YÖNTEMİ	19

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

BÖLÜM 3 TORBA KAĞIDI KALİTE KRİTERLERİ	21
3.1 KAĞIT ÖZELLİKLERİ VE TEST YÖNTEMLERİ	21
3.2 KALİTE KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ	25
3.2.1 Torba Performansına Etki Eden Kağıt Özellikleri.....	25
3.2.1.1 Literatür Araştırması	25
3.2.1.2 Sektördeki Bazı Üreticilerin Beyanları	30
3.2.2 Kağıttaki Varyasyon	32
3.2.3 Kağıt Kalite Kriterlerinin Seçilmesi	35
BÖLÜM 4 KAĞIT ÜRETİMİ VE PROSES PARAMETRELERİ	39
4.1 KAĞIT ÜRETİM PROSESİ	39
4.1.1 Entegre Kağıt Üretimi.....	39
4.1.2 Hamur Hazırlama ve Yaş Kısım	41
4.2 PROSES PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ	43
4.2.1 Önemli Proses Parametreleri	43
4.2.1.1 Yüksek Kesafette Öğütme	43
4.2.1.2 Düşük Kesafette Öğütme	44
4.2.1.3 Kimyasal Ekleme ve Karıştırma	45
4.2.1.4 Temizleme ve Eleme.....	46
4.2.1.5 Safiha Oluşturma.....	46
4.2.2 Proseste Yapılan Sabitleme Çalışmaları	47
4.2.3 Proses Parametrelerinin Seçilmesi.....	48
BÖLÜM 5 ANALİZLER VE TARTIŞMA	51
5.1 KONTROL KARTLARI.....	52
5.2 ÇOKLU REGRESYON ANALİZİ VE KORELASYON ANALİZİ.....	55
5.3 TEMEL BİLEŞEN ANALİZİ	61
5.4 TARTIŞMA.....	63
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	65

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

EK AÇIKLAMALAR A. PROSES PARAMETRE LİSTESİ.....	67
EK AÇIKLAMALAR B. ANALİZ VERİSİNİN DAĞILIM GRAFİKLERİ	71
EK AÇIKLAMALAR C. MATLAB PROGRAM PARÇALARI.....	75
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Genel ve özel nedenli varyasyon örnekleri.....	4
2.2	İstatistiksek olarak kontrol altında, teknik olarak kontrol altında	6
2.3	OYKA'daki bir deneme üretimi esnasında toplanan kopma mukavemeti verilerinden oluşturulan "Ortalama Kartı (\bar{X} - Kartı)" örneği	10
2.4	OYKA'daki bir deneme üretimi esnasında toplanan kopma mukavemeti verilerinden oluşturulan "Değişim Aralığı Kartı (R - Kartı)" örneği.....	10
2.5	Normal dağılımda yerleşim olasılıkları	13
2.6	OYKA'da üretilen 90 g/m ² 'lik kağıdının kopma endeksi değerlerinin histogramı.	13
2.7	Çözüm yaklaşımı	20
3.1	Ölçülen kuvvet ve uzama değerlerinden TEA'nın hesaplanması.....	24
3.2	Kopma mukavemeti, uzama ve TEA deneyinin şematik gösterimi.....	24
3.3	Çok katlı kağıt torba örnekleri	26
3.4	Dolum esnasında patlama örneği.....	26
3.5	OYKA kağıdı ile rakip kağıdın uzama CD değerlerinin karşılaştırılması.....	34
3.6	Torbanın patlama bölgeleri	35
3.7	İki farklı kağıdın yakından görünüşü.....	35
3.8	TEA'nın elastik ve plastik bileşenleri.....	36
4.1	OYKA'da kraft kağıt üretim akış şeması.	40
4.2	OYKA hamur hazırlama ve yaş kısım şematik gösterimi.	42
4.3	Öğütümün temel özellikler üzerindeki etkisi.....	45
5.1	Ortalama kopma endeksi değerleri kontrol kartı (X - Kartı).....	53
5.2	Sekiz adet kağıt kalite kriteri için çok değişkenli kontrol kartı (T^2 - Kartı)	54
5.3	Tüm tamponların analizinden elde edilen kestirim (altı parametre).....	57
5.4	Yerli selülozdan üretilen tamponların analizinden elde edilen kestirim (altı parametre).....	57
5.5	İthal selülozdan üretilen tamponların analizinden elde edilen kestirim (altı parametre).....	58
5.6	Tüm tamponların analizinden elde edilen kestirim (on altı parametre).....	58

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
5.7	Yerli selülozdan üretilen tamponların analizinden elde edilen kestirim (on altı parametre).	59
5.8	Yerli selülozdan üretilen tamponların analizinden elde edilen kestirim (on altı parametre).	59
5.9	Pareto grafiği – temel bileşenler	63
A.1	Histogram grafik örnekleri (Kopma, Rutubet1, DKR Enerjisi ve Yırtılma Mukavemeti).	71
A.2	Serpilme grafikleri (Kopma Mukavemeti'ne karşılık; Nişasta, Sarsıntı, DKR Enerjisi, YKR Enerjisi, Jet/Elek Oranı ve HK Kuru Maddesi).	72
A.3	Serpilme grafikleri (Kopma Mukavemeti'ne karşılık; Hava Geçirgenliği, Yırtılma Mukavemeti, Rutubet, Kalınlık, Patlama Mukavemeti ve Cobb Arka).....	73
A.4	Serpilme grafikleri (Kopma Mukavemeti'ne karşılık; Uzama, Gramaj 2s, Rutubet1 2s, Rutubet2 2s, Yerli Selüloz Oranı ve İthal Selüloz Oranı).	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Varyasyon problemine yaklaşırken yapılan hatalar	4
3.1	OYKA’da test edilen temel kağıt özellikleri	22
3.2	AssiDoman firmasının beyan ettiği torba kağıdı değerleri	30
3.3	Belli başlı kraft torba kağıdı üreticilerinin, esmer, yarı-uzayabilir uzayabilir 90 g/m ² ’lik kraft torba kağıdı için, ürün spesifikasyonlarında beyan ettikleri fiziksel kağıt değerleri.	33
4.1	Seçilen proses parametreleri	49
5.1	Tek değişkenli ve çok değişkenli kontrol kartlarına göre prosesin kontrol dışına çıktığı tamponlar.	54
5.2	Korelasyon katsayıları	55
5.3	Regresyon katsayılarının kıyaslanması (altı parametre)	56
5.4	Regresyon katsayılarının kıyaslanması (on altı parametre)	56
5.5	Tüm veri grupları ve iki tip ölçeklendirme için tahminin standart hatası.....	61
5.6	Temel bileşenlerin katsayıları	62

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER:

μ	:	Popülasyon Ortalaması
\bar{x}	:	Örnek Ortalaması
σ	:	Popülasyon Standart Sapması
s	:	Örnek Standart Sapması
σ^2	:	Popülasyon Varyansı
ρ	:	Korelasyon Matrisi
Σ	:	Kovaryans Matrisi
r	:	Korelasyon Katsayısı (Regresyon Analizinde)
R	:	Korelasyon Katsayısı (Çoklu Regresyon Analizinde)
r^2	:	Determinasyon Katsayısı (Regresyon Analizinde)
R^2	:	Determinasyon Katsayısı (Çoklu Regresyon Analizinde)
λ_p	:	Özdeğer

KISALTMALAR:

AKL	:	Alt Kontrol Limiti
CA	:	Correlation Analysis (Korelasyon Analizi)
CD	:	Cross Direction (Makine Eni)
ÇDİPK	:	Çok Değişkenli İstatistiksel Proses Kontrol
ÇRA	:	Çoklu Regresyon Analizi
DKR	:	Düşük Kesafet Rifayneri
HCR	:	High Consistency Refiner (Yüksek Kesafet Rifayneri)
HK	:	Hamur Kasası
ISO	:	International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)
İPK	:	İstatistiksel Proses Kontrol
KA	:	Korelasyon Analizi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

LCR	:	Low Consistency Refiner (Düşük Kesafet Rifayneri)
MD	:	Machine Direction (Makine Boyu)
MR	:	Moving Range (Kayan Değişim Aralığı)
MRA	:	Multiple Regression Analysis (Çoklu Regresyon Analizi)
NSE	:	Net Specific Energy (Net Spesifik Enerji)
OYKA	:	OYKA Kağıt Ambalaj Sanayi ve Ticaret A.Ş.
PCA	:	Principle Component Analysis (Temel Bileşen Analizi)
SCAN	:	Scandinavian Standards (İskandinav Standartları)
TAPPI	:	Technical Association of the Pulp and Paper Industry (Amerikan Selüloz ve Kağıt Birliği)
TBA	:	Temel Bileşen Analizi
TEA	:	Tensile Energy Absorption (Kopma Enerjisi Absorpsiyonu)
TSE	:	Türk Standartları Enstitüsü
ÜKL	:	Üst Kontrol Limiti
YKR	:	Yüksek Kesafet Rifayneri

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kağıt fabrikalarının en büyük zorluklarından biri kaliteli üretim yapabilmektir. Kalitenin yılın bütününde hedeflenen aralıkta tutulması; teknik çelişkiler içeren, çok değişkenli ve son derece karmaşık bir problemdir. Bu süreç bünyesinde kimya, mekanik, elektrik, otomasyon gibi birçok temel mühendislik disiplini barındırır ve bu disiplinlerin tamamında üst düzeyde yetkinlik ister. Böylesi yüksek beklentileri olan kağıt üretim prosesinin dönem dönem başarısız olması ve işletmeleri sıkıntıya sokması rastlanmadık bir durum değildir.

OYKA Kağıt Ambalaj Sanayi ve Ticaret A.Ş. (OYKA) Çaycuma kağıt fabrikası, bahsi geçen sıkıntıları yaşamamak için, ürün kalitesinin sürekli geliştirilmesini öncelikleri konuları arasında görmektedir. 2010 yılı sonuna doğru tamamlanacak olan yatırımlar sayesinde kalitenin ciddi biçimde artacağı beklenmekle birlikte, yatırım harici iyileştirme faaliyetlerinin ürün kalitesini yüksek oranda artırma potansiyeli olduğu bir gerçektir. Bu çalışma, istatistiksel proses kontrol araçlarından faydalanarak, OYKA'da üretilen 90 g/m²'lik çimento torbası kağıdının kalitesinin artırılmasına yönelik olarak sürdürülen iyileştirme faaliyetlerine katkı sağlamayı hedeflemektedir. Ürün kalitesinin artması sayesinde daha düşük gramajlı kağıt ile (örneğin 80 g/m²) aynı torba dayanımına erişmek mümkün olduğunda, hammadde tüketimindeki azalmadan dolayı birim torba maliyetlerinde düşüş elde edilecektir.

Kaliteli kağıt üretebilmek için hem girdilerin hem de üretim prosesinin beklenen değerlerde ve kestirilebilir olması gerekmektedir. Bu sağlanabildiği takdirde çıktı da (kağıdın kalitesi) beklenen değerlerde olacaktır. Bu aşamada karşımıza iki temel sorun çıkmaktadır; kağıt üretim prosesinin girdilerinin değişkenlik göstermesi ya da kağıt üretim prosesinin kendisinin değişkenlik göstermesi.

Girdilerin değişkenlik göstermesini anlamak zor değildir çünkü ana hammadde (ağaçtan elde edilen elyaflar) doğal bir malzemedir ve hammaddedeki değişkenlik, büyük ölçüde, olduğu gibi ürün kalitesine yansır. Kağıt üretim prosesinin kendisinin değişkenlik göstermesi ise

yönetim, bakım ve işletme kökenli muhtelif faktörlerden kaynaklanmaktadır. Etkin koruyucu bakım faaliyetlerinin hayata geçirilememesi sebebiyle ekipmanlarda zaman içinde meydana gelen uygunsuzluklar, hamur ve su hatlarının kireçlenme vb. nedenlerle daralması, hatalı ayarlamalar bu duruma örnek olarak gösterilebilir.

Bu çalışmada ilk olarak, İstatistiksel Proses Kontrol hakkında genel bir araştırma yapılmış (Bölüm 2) ve ürün kalitesini temsil edecek kriterler tespit edilerek (Bölüm 3) kaliteyi etkileme potansiyeli olan asgari sayıdaki proses parametresi üzerinde çalışılmıştır (Bölüm 4). Kalite kriterleri ve kaliteye etki eden parametreler belirlendikten sonra, Tek Değişkenli ve Çok Değişkenli Kontrol Kartları yardımıyla, gözlem süresi içinde prosesin kontrol altında olup olmadığı araştırılmış ve kontrol dışı durumların hangi değişkenlerden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bir sonraki aşamada baskın proses değişkenlerini bulmak için Çoklu Regresyon Analizi, Korelasyon Analizi ve Temel Bileşen Analizi'nden yararlanılmıştır (Bölüm 5). Son olarak genel bir değerlendirme yapılmış ve bazı önerilerde bulunulmuştur (Bölüm 6).

Ayrıca analiz aşamasında, kullanılan hammadde özelliklerinin ürün kalitesi üzerindeki etkisini görmek amacıyla kağıt hamuruna ithal selüloz katılarak bir miktar üretim yapılmış ve bu ürünlerin ölçüm değerleri veri analizine dahil edilmiştir. Benzer şekilde kağıt mukavemeti (kalitesi) üzerinde etkili olduğu düşünülen; yüksek miktarda nişastanın kullanıldığı üretimlere ve yüksek sarsıntı numaralı üretimlere yer verilmiştir.

BÖLÜM 2

İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL

Kağıt sektörü, karmaşık yapısı itibariyle, her türlü analiz tekniğinin kolayca uygulama alanı bulabileceği bir sektördür. Bu tekniklerin açıklamasına geçmeden önce istatistiksel yöntemlere neden ihtiyaç duyulduğuna değinmekte fayda vardır.

2.1 NEDEN İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL

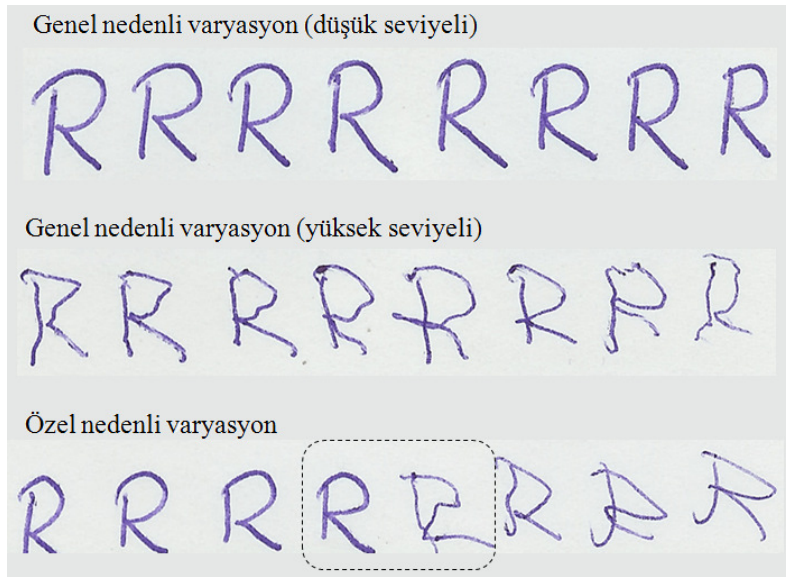
Fabrikalardaki sorumlular anahtar performans göstergelerini mutlaka izlerler: Üretim miktarları, birim tüketimler, arıza süreleri, ürün kalitesi v.d. Ölçülen özelliklerin ortak noktası, hepsinin değişkenlik içermesidir. Herhangi bir zamanda izlenen değişkenlerin birinde arzu edilenden daha düşük bir performansla karşılaşıldığında karar verme zorluğu yaşanır: “Gerçek bir problemle mi karşı karşıyayız yoksa ölçüm değeri, beklenen -normal- değişkenlik sınırları içinde mi? Bir şeyler yapmak gerekir mi, gerekmez mi?” Sorumluların, değişkenliği doğru biçimde ele alabilmesi için, öncelikle değişkenliğin ne olduğunu anlamaları gerekir. İstatistiksel Proses Kontrol (İPK) tam da bu noktada imdada yetişir: İPK'nın temel ilkelerini bilen yönetici varyasyonu daha iyi kavrar. Bu ise beraberinde doğru karar almayı getirir (Jaehn 1989).

“İPK nedir” sorusunu yanıtlamadan önce varyasyonun ne olduğu konusunu açmak yararlı olacaktır. Varyasyon, arzu edilen sonuçlardan sapma miktarı şeklinde tanımlanabilir. Sanayide; değişkenlik, saçılma, dağılma, salınım, istikrarsızlık, kararsızlık, düzensizlik vb. terimlerin kullanıldığı da görülür. Kağıt sektöründe genellikle; gidiş grafikleri, kontrol kartları veya histogramla görsel hale getirilir ve ölçüm sonuçlarınının 2-sigma değeri ile ifade edilir.

Şekil 2.1'de bir örneği verildiği üzere varyasyon; genel ve özel nedenlerden kaynaklanır. Genel neden, prosesin doğasında olan varyasyon kaynağıdır ve genel nedenden meydana gelen varyasyon “tesadüfi hata” olarak isimlendirilir. Odunun doğasındaki değişkenlik,

makinenin bünyesindeki normal titreşim, ölçüm aletinin hassasiyeti ve benzeri durumlar genel nedene örnek olarak gösterilebilir ve genel nedenden kaynaklanan varyasyon giderilemez.

Özel nedenden kaynaklanan varyasyon, tespit edilebilir (özel) bir sebebi olan varyasyondur ve özel nedenden meydana gelen varyasyon “sistemik hata” olarak isimlendirilir. Hatalı malzeme, yanlış ayar, insan hatası ve benzeri durumlar özel nedene örnek olarak gösterilebilir ve özel nedenden kaynaklanan varyasyon giderilebilir.



Şekil 2.1 Genel ve özel nedenli varyasyon örnekleri.

Her an varyasyonla iç içe olan fabrika çalışanları bu probleme yaklaşırken iki tip hata yaparlar:

1. Sorun, genel sorun iken özel sorun olarak ele alınır ve düzeltilmeye çalışılır. (Tip 1)
2. Sorun, özel sorun iken genel sorun olarak ele alınır ve düzeltilmeye çalışılmaz. (Tip 2)

Bu durum Çizelge 2.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 Varyasyon problemine yaklaşırken yapılan hatalar.

	İKAZ VAR	İKAZ YOK
PROSES KONTROL ALTINDA	Tip 1 hata	Hata yok
PROSES KONTROL DIŞI	Hata yok	Tip 2 hata

2.2 İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL NEDİR

İPK, herhangi bir prosesin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını belirlemeye yarayan ve bir grup teknikten/araçtan oluşan bir problem çözme algoritmasıdır (Köksal 2003). Bu kapsamda İPK, sadece üretim prosesinin kontrolü ile sınırlı kalmaz, bekleneceği üzere; hammaddelerin, diğer girdilerin, yarı ürünlerin ve ürünlerin kabul edilebilirliklerinin araştırılmasında yoğun biçimde uygulama alanı bulur. Prosesin kontrolü, üretimdeki değişkenliğin kontrol kartları yardımıyla izlenmesi sayesinde başarılıdır. Kabul örnekleme planları ile satın alınan girdilerin veya üretilen ürünlerin önceden belirlenen standartlara uyup uymadığı araştırılarak bunların kabulüne ya da reddine karar verilir (Köksal 2003).

2.2.1 İstatistiksel Proses Kontrolün Kısa Tarihçesi

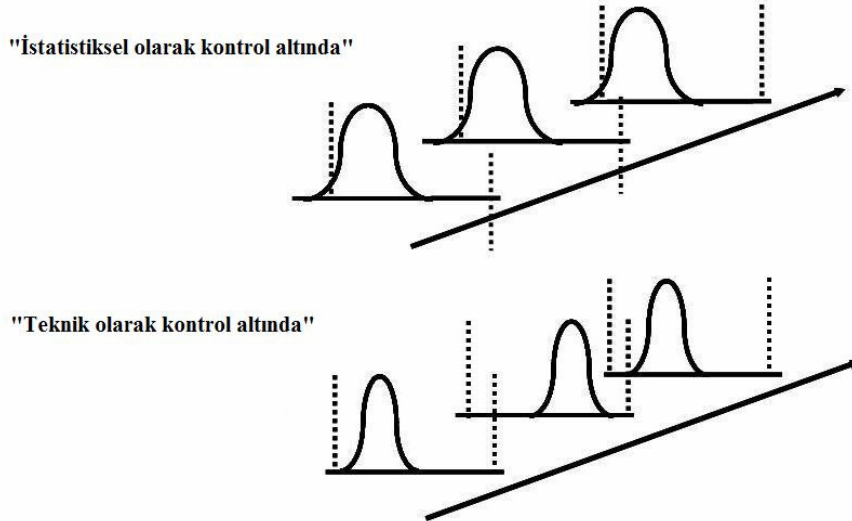
İPK 1920'lerde Walter Shewart ile başlamıştır (Oakland 2008). Shewart, hem üreticiler hem de tüketiciler için faydalı durumlar yaratmak üzere İPK tekniklerinin yönetim süreçlerine adapte edilmesinin önemini vurgulamış ve kontrol kartı kavramını yaygınlaştırmaya çalışmıştır. Bu çabaların sonunda İPK, kontrol kartı tekniğinin ötesine geçerek, üretim alanlarında kullanılmaya başlamıştır. Harold Dodge, Harry Roming, W. Edwards Deming ve Eugene Grant'ın da katkılarıyla İPK sürekli gelişmiştir. Eugene Grant *İstatistiksel Kalite Kontrol* isimli klasikleşmiş metnini ilk kez 1946 yılında yayınlamıştır. Bu dönem zarfında kontrol kartı limitleri, Shewart'ın ekonomik limitler kavramından, grup varyasyonuna dayanan, olasılık limitlerine dönüşmüştür (Ordonez 2008). Bu anlamda İPK terimi, salt kontrol kartları uygulamasının çok ötesine geçmiştir. Kabul örnekleme, veri analizi, veri yorumlaması ve kalite yönetimi gibi başlıklar bu disiplinin çatısı altında bir araya gelmiştir.

2.2.2 İstatistiksel Proses Kontrolün Temel Araçları

1920'li yıllardan itibaren sürekli gelişen istatistiksel proses kontrol günümüzde, sanayide, modern kalite kontrol süreçlerinin en vazgeçilmez aracı konumuna erişmiştir. Ancak İPK'dan yeterince faydalanmada bazı zaafı olduğu bir gerçektir. Bunun en temel sebebi proseslerin maruz kaldığı varyasyonun doğru yorumlanabilmesindeki bilgi eksikleridir.

Tüm üretim süreçleri belirli oranda varyasyona sahiptir. Bu varyasyon esasen prosesin doğasından kaynaklanmaktadır. Örneğin kağıt üretim prosesinin girdileri her daim aynı

olmaz, çünkü ana hammadde (ağaçtan elde edilen elyaflar) doğal bir malzemedir ve hammaddedeki değişkenlik, büyük ölçüde, olduğu gibi ürün kalitesine yansır. Ancak varyasyonun var olması prosesin kontrol dışı olduğu anlamına gelmez. Bunun olabilmesi için prosesin doğasında var olan varyasyonun haricinde bir varyasyon kaynağının prosesi etkilemesi gerekir. Bu durumda, varyasyonun doğal mı yoksa özel bir sebepten mi kaynaklandığının tespit edilmesi gerekir. Yani proses istatistiksel olarak kontrol altında mıdır yoksa değil midir? Proses teknik olarak kontrol altında iken istatistiksel olarak kontrol altında değilse bir şey yapmak gerekir mi (Bkz. Şekil 2.2)? Yani ürün önceden belirlenmiş olan kabul sınırları içinde iken istatistiksel olarak kontrol altında değilse ilave çabaya gerek var mıdır? Sanayi pratiğindeki yaygın kanı prosesin teknik olarak kontrol altında olmasının yeterli olduğu yönündedir ki bunun kalitesizlik maliyeti doğuracağı aşikardır.



Şekil 2.2 İstatistiksel olarak kontrol altında, teknik olarak kontrol altında (Janssen 2007'den değiştirilerek).

Prosesin istatistiksel olarak kontrol altında olmamasından kaynaklanacak maliyetlere katlanmamak için İPK tekniklerini bilmek ve uygulamak önem arz etmektedir. İPK teknikleri temel olarak dört başlıkta toplanabilir: Kontrol kartları, histogram dağılımları, Pareto analizi ve ileri teknikler (korelasyon analizi, varyans analizi vb.). Bu tekniklerin açıklamasına geçmeden önce istatistiğin temel kavramlarına değinmek faydalı olacaktır.

2.2.2.1 İstatistiğin Temel Kavramları

İstatistiksel kavramlar kümesi oldukça geniş bir kümedir. Bu kısımda sadece giriş niteliğindeki iki konu üzerinde durulacaktır: Merkezi temayül ölçüleri ve dağılım ölçüleri.

Merkezi temayül ölçüleri

Merkezi temayülü ölçmenin amacı veri değerlerini sayı doğrusu üzerindeki yerleşim eğilimini görmektir. İstatistikte bu durumu ifade etmek için kullanılan bir diğer terim ise “merkez yerleşimidir”. Yerleşimin tespiti için kullanılan pek çok ölçü vardır. Aritmetik ortalama, geometrik ortalama, armonik ortalama, medyan ve kırılmış ortalama bunlardan bazılarıdır (Çil 2000). Aritmetik ortalama en basit ve en yaygın yerleşim ölçütüdür. Şayet örneklem verisi normal dağılım sergileyen bir popülasyondan alınmışsa en uygun yerleşim ölçüsü aritmetik ortalamadır. Maalesef aykırı değerlere, veri giriş hatalarına ve kusurlu verilere gerçek dünyada oldukça sık rastlanır. Aritmetik ortalama bu tip sorunlara karşı hassastır. Tek bir kötü değer ortalamayı, kalan verinin merkezinden oldukça uzaklara taşıyabilir. Medyan ve kırılmış ortalama aykırı değerlere karşı dirençlidir. Kırılmış ortalamanın ardındaki fikir, örneklem merkezini belirlerken, az sayıdaki en yüksek ve en düşük değeri göz ardı ederek daha sağlıklı sonuçlara ulaşmaktır. Geometrik ortalama ve armonik ortalama da yine, aritmetik ortalamada olduğu gibi, aykırı değerlere karşı bağışık değildir. Bir veri kümesindeki her bir ölçüm değerini x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) ile gösterdiğimizizi varsayalım. Bu durumda \bar{X} ile ifade edilen aritmetik ortalama,

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.1)$$

ile şekilde hesaplanır, ki burada n veri kümesinin boyutudur.

Dağılım ölçüleri

Dağılımı ölçmenin amacı veri değerlerinin sayı doğrusu üzerinde nasıl dağıldığını görmektir. İstatistikte bu durumu ifade etmek için kullanılan bir diğer terim ise saçılımdır (Çil 2000). Dağılımı tespit etmek için kullanılan pek çok ölçü vardır. Değişim aralığı, ortalama sapma, standart sapma ve varyans bunlardan bazılarıdır. Değişim aralığı, standart sapma ve varyans

en basit ve en yaygın yerleşim ölçüleridir. Şayet örneklem verisi normal dağılım sergileyen bir popülasyondan alınmışsa en uygun yerleşim ölçüleri de yine standart sapma ve varyanstır. Ancak bunların her ikisi de aykırı değerlere karşı kırılımandır. Halbuki interkantil sapma, bu anlamda, oldukça dirençlidir (The Mathworks 1999). Değişim aralığı, anlaşılması ve hesaplanması kolay olmakla birlikte (örnek kümesindeki en büyük değer - en küçük değer) büyük veri kümeleri için çoğunlukla sağlıklı sonuç vermez. Standart sapma, genellikle elektronik hesap makinesi ya da bilgisayar gerektirmesine ve bazıları için (örneğin fabrika çalışanları) anlaşılması güç bir ölçü olmasına rağmen değişim aralığından daha güvenilir sonuçlar üretir. Bu çalışmadaki analizlerde dağılım ölçüsü olarak standart sapmadan faydalanılmış ve hesaplamalarda Eşitlik (2.2)'deki formül kullanılmıştır:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (2.2)$$

Burada n veri kümesinin boyutudur.

2.2.2.2 Kontrol Kartları

Ürünlerin ve hizmetlerin kalitesini artırmak için toplanan verinin analiz edilmesi ve değişkenlik sebeplerinin araştırılması gerekir. Bu kapsamda eldeki veri kullanılarak, prosesin yeteneği ve kararlılığı tespit edilir. Eğer proses kararlı ise mevcut değişkenlik, çok sayıdaki genel sebepten kaynaklanır. Kontrol kartlarının kullanım amacı, prosesi istenmeyen durumlara sürükleyen (ya da sürükleyecek olan) özel sebepleri ortadan kaldırmaktır (Jaehn 1989).

Kontrol kartlarının başlıca iki türü bulunmaktadır: Değişkenler için kontrol kartları ve özellikler için kontrol kartları. Birinci tür grafikler yardımıyla, ölçülebilen sürekli değişkenlerle ilgili (çap, uzunluk, ağırlık vb.) ortalama (\bar{X}) ve değişim aralığı (R) değerlerinin kontrol altında olup olmadığı araştırılabilmektedir. İkinci tür yani özelliklerle ilgili kontrol grafiklerinde ise amaç üretimdeki kusurlu parça oranının veya kusur sayısının, kabul edilebilir sınırlar içinde bulunup bulunmadığını belirlemektir (Köksal 2003). Bu çalışmada kapsamında sadece birinci tür kontrol kartları ele alınacaktır.

Özü Shewart'ın orijinal kontrol kartlarına dayanan muhtelif türev kartlar sanayide kullanım alanı bulmaktadır. Ortalama (\bar{X}) ve Standart Sapma (s), Ortalama (\bar{X}) ve Varyans, Gidiş (X) ve Kayan Değişim Aralığı (MR) bunlardan bazılarıdır (Mamzic and Tucker 1988). Ortalama kontrol kartı (\bar{X} - Kartı) alt grupların ortalama değerlerin zamana karşı çizilmesiyle oluşur. Değişim aralığı kartı (R - Kartı) ise alt grupların değişim aralıklarının zamana karşı çizilmesinden ibarettir. \bar{X} ve R kartları daha çok sürekli proses değişkenleri için kullanılır. Bireysel ölçümlerin söz konusu olduğu durumlarda (örneğin saatte bir yapılan laboratuvar ölçümleri) X - Kartı'nın ve MR - Kartı'nın kullanımı daha uygundur (Henriksson and Ho 1993). X - Kartı ham verinin, MR - Kartı ise ardışık ölçüm değerlerinin farkının zamana karşı çizdirilmesidir.

Kontrol Kartı Hesaplamaları

Kontrol kartlarının oluşturulmasının en önemli kısmı Üst Kontrol Limiti'nin (ÜKL) ve Alt Kontrol Limiti'nin (AKL) hesaplanmasıdır. Bunun için ortalamanın ve standart sapmanın bilinmesi yeterlidir. Buna göre aşağıdaki ifadeler yardımıyla ÜKL ve AKL bulunur:

$$\text{Üst Kontrol Limiti} = (\text{Ortalama}) + 3(\text{Standart Sapma})$$

$$\text{Alt Kontrol Limiti} = (\text{Ortalama}) - 3(\text{Standart Sapma})$$

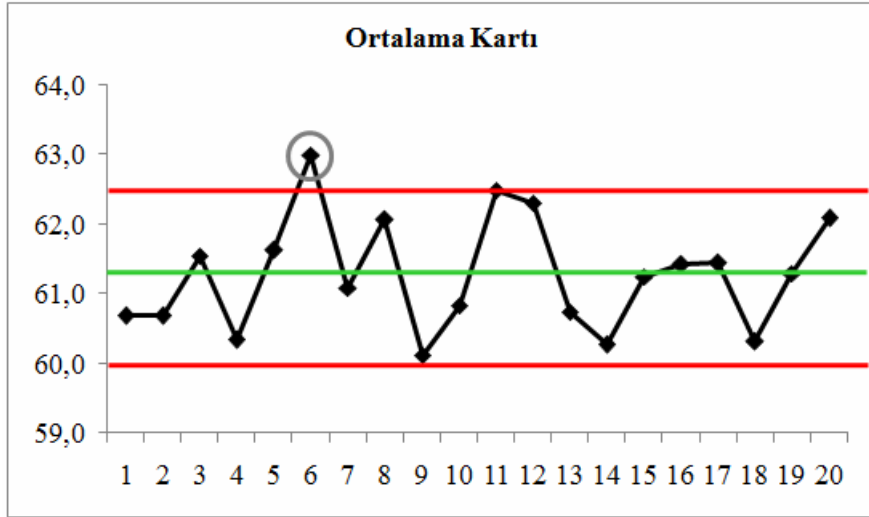
Yani,

$$\text{ÜKL} = \bar{X} + 3\sigma \quad (2.3)$$

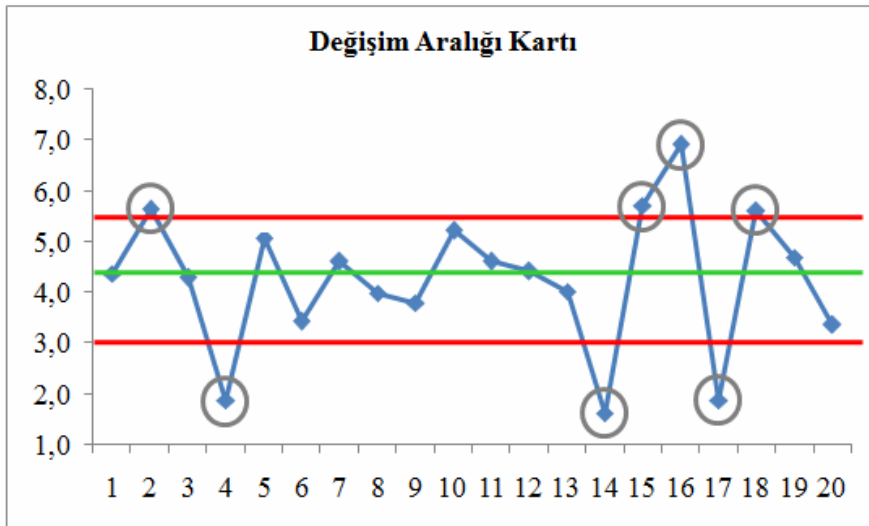
$$\text{AKL} = \bar{X} - 3\sigma \quad (2.4)$$

Ortalama değerden $\pm 3\sigma$ uzaklıktaki bölge kapsadığı için bu formülle hesaplanan kontrol limitlerine “3-Sigma Kontrol Limitleri” denir (Oakland 2008). Buradaki σ değeri, zamana karşı çizilen gözlem değerlerinden kestirilen standart sapmadır. Eğer m büyüklüğündeki alt grupların ortalamalarının ortalaması alınmış ise bu durumda bulunan standart sapma değeri \sqrt{m} 'ye bölünür. Bu değer “ortalamaların standart hatası” olarak adlandırılır.

OYKA'daki sorunlu bir üretim döneminde toplanan verilerden oluşturulan \bar{X} - Kartı ve R - Kartı örnekleri Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te verildiği gibidir. Grafiklerdeki yuvarlak içine alınan değerler özel sebeplerden kaynaklanan istenmeyen durumları işaret etmektedir.



Şekil 2.3 OYKA'daki bir deneme üretimi esnasında toplanan kopma mukavemeti verilerinden oluşturulan “Ortalama Kartı (\bar{X} - Kartı)” örneği.



Şekil 2.4 OYKA'daki bir deneme üretimi esnasında toplanan kopma mukavemeti verilerinden oluşturulan “Değişim Aralığı Kartı (R - Kartı)” örneği.

Kontrol Kartlarının Yorumlanması

Kontrol limitleri, esasen, prosesin neye muktedir olduğunun, spesifikasyon limitleri ise prostesten ne beklendiğinin bir ölçüsüdür. Bu anlamada, bir üretim prosesinde, kontrol limitlerinin toplam genişliği spesifikasyon limitlerinin toplam genişliğinden fazla ise üretilen ürünlerin bir kısmı kesinlikle kusurlu olacaktır. Kontrol limitleri ile spesifikasyon limitleri

konusunda bahse değer başka senaryolar mevcuttur. Ancak bu aşamada kontrol kartlarının nasıl yorumlanacağı tartışılacaktır.

Yukarıda bahsi geçen tüm kontrol kartları bireysel ölçüm değerlerine ve ardışık değerlerin temayülüne göre değerlendirilir. Çeşitli kaynaklarda farklı örüntüler tanımlanmakla birlikte kullanılan kurallar potansiyel problemlere ya da proseste meydana gelen değişikliklere işaret etmek üzere tasarlanmıştır. Yaygın kural ifadeleri aşağıda verildiği gibidir:

- Bireysel ölçüm değerinin kontrol limitlerinin dışına çıkması.
- Ardışık yedi ya da daha fazla ölçüm değerinin yukarı ya da aşağı yönde olması. Bu durum prosesteki yavaş değişimi (sürüklenmeyi) işaret eder.
- Ardışık yedi ya da daha fazla ölçüm değerinin ortalamanın (veya merkez kontrol limitinin) altında veya üstünde olması. Bu durum prosesin yönünde bir kayma olduğuna işaret eder.

2.2.2.3 Çok Değişkenli Kontrol Kartları

Birden fazla önemli karakteristiğin bulunduğu durumda, prosesin kararlılığını izlemek için yeni bir yaklaşıma (çok değişkenli kontrol kartlarına) ihtiyaç duyulur. Bu tip bir yaklaşım değişkenler arasındaki korelasyonları dikkate alır ve toplam Tip 1 hata (proses kontrol altında iken ikaz olması) olasılığını kontrol eder. Değişkenler arasındaki korelasyon çok güçlü olduğunda ya da çok fazla değişken olduğunda hem analiz kolaylığı sağlar hem de analizin doğruluğunu artırır (Johnson and Wichern 1998). Çok değişkenli kartların en yaygın kullanılan iki türü: Elips Kartı ve T^2 Kartı'dır. Serpilme diyagramı biçimindeki Elips Kartı ancak iki değişkenli durumlarda kullanılabildiği için pratikte etkinliği kısıtlıdır.

T^2 Kartı

Elips Kartı'nın tersine T^2 Kartı, çok sayıdaki değişkene uygulanabilir ve zaman ekseninde ilerleyen değerler grafiği şeklindedir. Bu durum örüntüleri ve temayülleri görünür kılar. İzlenen değişken sayısının çok olduğu durumda, değişken sayısı kadar tek değişkenli kontrol kartı ile ilgilenmek yerine tek bir T^2 kartı ile aynı sonuca ulaşmak mümkündür ve kolaydır. j -ninci nokta için T^2 istatistiği şu şekilde hesaplanır:

$$T_j^2 = (x_j - \bar{x})' S^{-1} (x_j - \bar{x}) \quad (2.5)$$

Elde edilen T^2 değerleri zaman ekseninde çizilir. Alt Kontrol Limiti sıfırdır, Üst Kontrol Limiti ÜKL = $\chi_p^2(.05)$ ¹ ile (ve bazen de $\chi_p^2(.01)$ ile) hesaplanır. T^2 kartında merkez kontrol limiti yoktur. T^2 kartı j -ninci eleman için kontrol dışı uyarısı verdiğinde (j -ninci eleman üst kontrol limitinin üzerine ise) bu durumun hangi değişkenden ya da değişkenlerden kaynaklandığının tespit edilmesi gerekir. Bu amaca hizmet etmek üzere, sıklıkla, Bonferroni aralıklarından türeyen modifiye bir bölge kullanılır (Johnson and Wichern 1998). Buna göre (2.6)'daki aralığın dışında kalan k -ninci değişken kontrol dışıdır:

$$\left(\bar{x}_k - t_{n-1} \left(\frac{.005}{p} \right) \sqrt{s_{kk}}, \bar{x}_k + t_{n-1} \left(\frac{.005}{p} \right) \sqrt{s_{kk}} \right) \quad (2.6)$$

Burada p ölçülen değişken sayını, $\sqrt{s_{kk}}$ standart sapmayı ifade etmektedir.

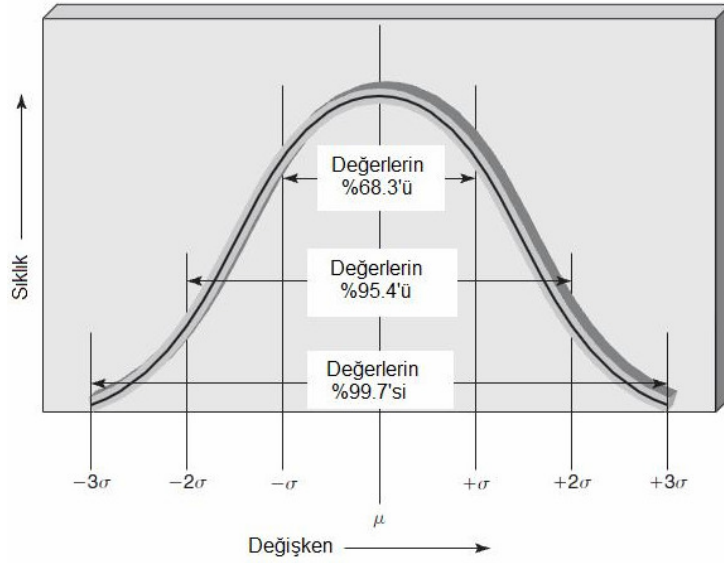
2.2.2.4 Histogram Grafikleri

Histogram, eldeki verinin merkezi yerleşim ve dağılım özelliğini görsel hale getirmenin en faydalı yöntemlerinden birisidir. Sıklık dağılımı olarak da ifade edilen histogram esasında, basitçe, ölçüm değerlerinin yinelenme sıklığının çubuk grafiklerle gösteriminden ibarettir. Bu yapıyla histogram grafiklerine bakarak prosesin zaman içinde gösterdiği değişimleri tespit etmek mümkün değildir. Histogram grafiklerinin amaca hizmet edebilmesi için dikkat edilmesi gereken en önemli husus dağılım aralıklarının doğru tespit edilmesidir. Literatürde çeşitli dağılım türleri olmakla birlikte en yaygın kullanılan dağılım türü Normal Dağılım'dır. Gauss Eğrisi ya da Çan Eğrisi olarak da adlandırılan bu dağılım türünde ölçüm değerlerinin yerleşim olasılıkları belirlidir. Şekil 2.5'te görsel olarak verildiği üzere, ölçüm değerlerinin;

- %68.3'ü $\mu \pm 1\sigma$,
- %95.4'ü $\mu \pm 2\sigma$ ve
- %99.7'si $\mu \pm 3\sigma$ aralığındadır.²

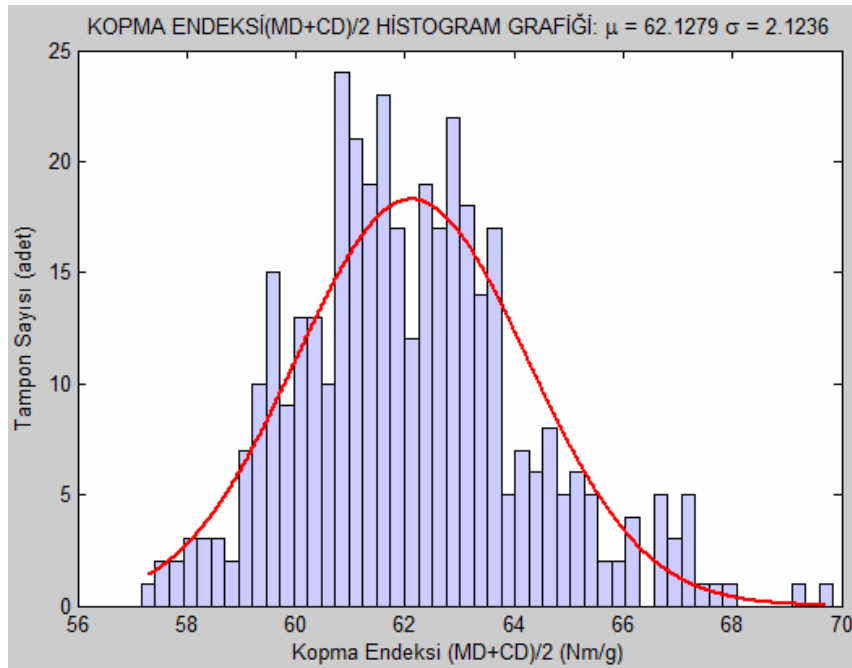
¹ χ_p^2 ifadesi Ki-Kare Dağılımı'nı ifade etmektedir. Burada p serbestlik derecesidir.

² OYKA'da toplanan verilerin analiz edilmesi aşamasında oluşturulan tek değişkenli ve çok değişkenli kontrol kartları 3-sigma kontrol kartlarıdır. Yani kontrol limitleri, mevcut dağılımın %99.7'sinin dışındaki durumlarda kontrol dışı ikazı gelecek şekilde oluşturulmuştur (binde üçlük durum nadir durum olarak kabul edilmiştir).



Şekil 2.5 Normal dağılımda yerleşim olasılıkları.

Şekil 2.6'da örnek bir histogram grafiği verilmiştir. Grafikteki değerler, OYKA'da üretilen 90 g/m²'lik torba kağıdının kopma endeksi değerleridir. İleriki bölümlerle detaylı biçimde analiz edilecek olmakla birlikte grafiğinin incelenmesi sonucunda, iki farklı tip hammadde kullanımının etkisi (çift tepeli grafik) ile kalite artırma çalışmalarının etkisi (nişasta kullanımı nedeniyle grafiğin sağa kayması) bariz biçimde görülmektedir.



Şekil 2.6 OYKA'da üretilen 90 g/m²'lik kağıdının kopma endeksi değerlerinin histogramı.

2.2.2.5 Pareto Analizi

1848 - 1923 yılları arasında yaşamış olan İtalyan Vilfredo Pareto, iktisat ve sosyoloji alanında tanınmış italyan bilim adamıdır. Daha sonra kendi adıyla anılmaya başlayacak olan prensibini ilk kez ekonomik içerikli olarak ortaya koymuştur. Pareto işletmelerde çeşitli incelemeler yapmış ve aldığı sonuçları şu şekilde genelleştirmiştir: “Normal dağılımda sebeplerin en önemli %20’si sonuçların %80’ini, sonra gelen %30’u sonuçların %15’ini ve geri kalan %50’si ise sonuçların sadece %5’ini oluşturmaktadır.” Bu oranlar sebebiyle Pareto prensibine literatürde “80-20 Kuralı” da denir (Özcan 2001). Özellikle kalite kontrol ve kalite geliştirme programlarında problemin sebepleri tespit edilirken hangi hataların daha büyük bir yüzdeye sahip olduğu bu teknik vasıtasıyla kolayca tespit edilebilmektedir.

2.2.2.6 İleri Teknikler

Modern proseslerin sorunları son derece karmaşıktır. Örneklerin ve değişkenlerin sayıları muazzam boyutlara ulaşabilmektedir ve algılayıcı teknolojisindeki gelişmeler sayesinde durum daha da karmaşık olma eğilimindedir. Bu münasebetle denetim modeli; değişkenler arasındaki, kovaryans matrisi ile karakterize edilen, değişkenlerle proses arasındaki mevcut ilişkilerden üreyen, korelasyon yapısını ve miktarını mutlaka dikkate almak zorundadır. İPK üretim süreçlerine uygulandığında hatalı alarmların sayısı hiç de azımsanacak ölçüde olmaz. Neyse ki bu sorun, Çok Değişkenli İstatistiksel Proses Kontrol (ÇDİPK) yardımıyla çözülebilir. ÇDİPK çok boyutlu bilgiyi az sayıdaki saklı değişkene indirger ki bunlar, ölçülen değişkenlerin değişim oranını, birbiri arasındaki ilişkiyi de içerecek şekilde açıklayabilir (Ordonez 2008). Bu çalışma kapsamındaki üretim verisini analiz etmek amacıyla, kontrol kartlarının yanı sıra, ÇDİPK araçlarından Çoklu Regresyon Analizi (ÇRA), Korelasyon Analizi (KA) ve Temel Bileşen Analizi’den (TBA) faydalanılmıştır.

2.3 ÇOKLU REGRESYON ANALİZİ VE KORELASYON ANALİZİ

İki veya daha fazla sayıdaki değişkenin birbiri ile ilişkili olması durumuna uygulamada oldukça sık karşılaşılr. Örneğin yetişkin erkeklerin kiloları bir dereceye kadar boyları ile ilişkilidir, çemberin çevre uzunluğu yarıçapına bağlıdır, belirli bir kütledeki gazın basıncı hacmine ve sıcaklığına bağlıdır. Bu ilişkiyi, değişkenleri birbirine bağlayacak bir denklem ile matematiksel biçimde ifade etmek sıkça arzu edilen bir durumdur (Murray and Stephens

1998). Veri kümelerine uyan matematiksel ifadeleri (doğru, parabol veya diğer yaklaşım eğrilerini) oluşturma aşamasında öznel değerlendirmelerden kaçınmak için, en iyi uyan doğru ya da en iyi uyan parabol vb. için bir tanım üzerinde uzlaşmak gerekir. Serpilme grafiğinde her bir noktanın yaklaşım eğrisine olan uzaklıklarının karelerinin toplamının en küçük olduğu eğri, en iyi uyan eğri olarak tanımlanır (Murray and Stephens 1998). İlişkiyi ifade edebilen bir denklemin ortaya çıkarılmasının, ilişkinin yönünü ve şeklini belirleyebilmenin yanı sıra diğer bir yararlı yönü vardır, ki bu;

$$Y = (a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_nX_n) + \epsilon \quad (2.7)$$

şeklinde bir denklem ile, X_i değeri verildiği taktirde buna tekabül eden Y değerinin de bulunabilmesi ve dolayısıyla tahmin yapabilmeyen mümkün olmasıdır (Köksal 2003). Burada b_i değerleri “regresyon katsayıları” olarak adlandırılır. Yani, örneklem verisine dayanarak, verilen bir X_i değişkeninin değerine karşılık gelen Y değişkeni değerini bulmak istediğimizde bunu yapmanın yolu, Y değerinin, veri kümesine uyan en küçük kareler eğrisinden kestirilmesidir. Sonuçta elde edilen eğri, Y 'nin X üzerindeki regresyon eğrisi olarak adlandırılır. Eğri denkleminin katsayılarının, en küçük kareler metodu yardımıyla bulunması işlemine ise regresyon analizi denir (Murray and Stephens 1998). En küçük kareler metodu karesel hatayı (Eşitlik (2.8)'i) minimize etmek üzerine kurulmuştur.

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.8)$$

Burada e_i hata, y_i gözlenen değer, \hat{y}_i kestirilen değer ve n veri kümesinin boyutudur.

Regresyon analizi, iki değişkenden birini bağımlı diğerini bağımsız kabul ettiğimiz durumda bize ilişkiyi ifade eden bir denklem vermektedir. Bağımsız değişkenlerin sayısı iki veya daha çok olduğu durumda analiz, çoklu regresyon analizi adını alır. Ölçeklendirilmiş veri için Eşitlik (2.7)'deki a sabiti sıfırdır, b katsayıları (regresyon katsayıları);

$$b_i = \frac{\sum X_i Y}{\sum X_i^2} \quad , i = 1, 2, \dots, n \quad (2.9)$$

ile hesaplanır.

Regresyon analizi değişkenler arasındaki ilişkinin kuvvetini meydana çıkarmada ve yaklaşım eğrisinin eldeki veriye uyumunu belirlemede yeterli olmamaktadır. Bu durumda ilişkinin yönünü ve kuvvetini korelasyon katsayısı (tek bağımsız değişken durumunda r, çoklu durumda R) ile ölçerek gerek regresyon katsayılarının gerekse korelasyon katsayısının anlamlılığını belirlemeye çalışmak gerekir (Köksal 2003).

Korelasyon analizi; iki ya da daha fazla değişken arasındaki ilişkinin derecesini ve yönünü tespit etmek amacıyla kullanılan istatistik yöntemlerden birisidir (Çil 2000). Değişkenlerin bağımlı veya bağımsız olması dikkate alınmaz. Korelasyon katsayısı “r” harfiyle ifade edilir ve -1 ile +1 arasında ($-1 \leq r \leq +1$) bir değer alır. Burada, değişkenler arasındaki ilişkinin düzeyini, rakamların mutlak büyüklüğü, yönünü ise rakamların işareti (pozitif ya da negatif olması) belirler. Korelasyon katsayısının pozitif olması, bir değişkene ilişkin verilerin artması durumunda diğerinin de artması veya bir değişkene ilişkin verilerin azalması durumunda diğerinin de azalması anlamına gelir ve değişkenler arasında doğru yönlü bir ilişki vardır şeklinde yorumlanır. Korelasyon katsayısının negatif olması ise; bir değişkene ilişkin verilerin artması durumunda diğerinin azalması veya bir değişkene ilişkin verilerin azalması durumunda diğerinin artması anlamına gelir ve “değişkenler arasında ters yönlü bir ilişki vardır” şeklinde yorumlanır. Korelasyon katsayıları;

$$r = \frac{\sum[(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2.10)$$

Değişkenler arasındaki ilişkinin kuvvetini ölçmek için önce eldeki çıkış değerlerinde (bağımlı değişkenin aldığı değerlerde) gözlenen toplam değişkenliğin ne kadarının tesadüfi veya açıklanamayan sebeplerden ileri geldiğini ve ne kadarının değişkenler arasındaki ilişkiden ötürü olduğunun belirlenmesi gerekir. Tekli durumda r^2 çoklu durumda R^2 ile ifade edilen determinasyon katsayısını bulmak için Eşitlik (2.10)’un karesini almak yeterlidir.

2.4 TEMEL BİLEŞEN ANALİZİ

Temel Bileşen Analizi veri kümelerinden uygun bilginin çekilmesine yarayan, parametrik olmayan, basit bir yöntemdir (Johnson and Wichern 1998). Günümüzde, bazı olguları anlamak için çok defalar deneye başvurur ve elimizdeki sistemin çeşitli özelliklerini (gerilim seviyesi, hız vb.) ölçme yoluna gideriz. Maalesef, toplanan verinin karışık ve bulanık

görünmesi, hatta gereğinden fazla miktarda olması çözümü iyice zorlaştırır. Önemsizmiş hissi uyandıran bu sorun, aslında, deneysel bilimin önündeki en temel engeldir. Sinirbilim, meteoroloji ve okyanus bilimi gibi bazı karmaşık sistemlerde, altta yatan ilişkilerin basitliğine rağmen, ölçülen değişkenlerin beceriksizce seçildiği ve bazen de yanıltıcı olduğu örneklerle rastlanmıştır. Çoğunluk durumunda, eldeki sistemin dinamiklerini en iyi şekilde yansıtacak değişkenleri tespit etmekte zorlanılmakta ve ihtiyaç duyulandan daha fazla ölçüm yapılmaktadır.

Herhangi bir deneyde bağımlı değişken sonsuz sayıda değişkenden etkilenebilir. Bu tür değişkenlerin çıktı üzerindeki etkileri bir gruptan diğerine farklılık gösterebilir. Böyle bir durumda sadece gözlenen değerden yola çıkarak bulunan bağımlı değişken üzerindeki, gruplar arası farklar, işlem etkisinin anlamlı olup olmadığını gösterir mi? Bu sorunun yanıtı büyük olasılıkla “hayır”dır. Sorun, bağımlı değişkenle ilişkisi gözlenen değişken ya da değişkenlerin analize dahil edilmesiyle çözülebilir (Büyüköztürk 1998).

Bu tip bir analiz yöntemi olan TBA, eldeki değişken kümesinin varyans-kovaryans yapısını, bu değişkenlerin az sayıdaki doğrusal kombinasyonu vasıtasıyla açıklamaya çalışır. TBA'nın iki temel amacı vardır: Veri indirgeme ve anlam çıkarma. Toplam sistem değişkenliğini yeniden üretmek için p sayıda bileşen gerekmele birlikte, bu değişkenliğin önemli bir kısmı, genellikle, az sayıdaki k adet temel bileşen ile izah edilebilir. Bu durumda, k adet temel bileşenin içerdiği bilgi miktarı p adet değişkenin içerdiği bilgi kadardır denilebilir. Böylece k adet temel bileşen başlangıçtaki p adet değişkenin (yani orijinal veri kümesinin) yerine geçer ve toplam veri boyutu, p değişkenleri üzerindeki n adet ölçüm yerine k değişkenleri üzerindeki n adet ölçüme indirgenmiş olur (Johnson and Wichern 1998). Bu şekilde bozucuların süzülmesi ve veri yığını içindeki gizli yapının ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır. Temel bileşenlerin analizi, önceden akla gelmeyen ilişkilerin meydana çıkarılmasına ve dolayısıyla alışlagelmişin dışında neticelere ulaşılmasına imkan sağlar. Bu özelliği ile TBA, sıklıkla, kendi içinde tamamlanırken yeni ve daha geniş araştırmaların önünün açılmasına neden olur.

Cebirsel açıdan temel bileşenler, p adet rastgele değişkenin (X_1, X_2, \dots, X_p) belirli doğrusal kombinasyonlarıdır. Geometrik açıdan ise bu doğrusal kombinasyonlar, orijinal sistemin X_1, X_2, \dots, X_p koordinat eksenlerinde döndürülmesinden elde edilen yeni bir koordinat sisteminin seçilmesini ifade eder. Yeni eksenler değişkenliğin en fazla olduğu yönleri gösterir ve

kovaryans yapısının hem daha basit hem de daha tutumlu bir şekilde tanımlanmasına imkan sağlar.

Göreceğimiz üzere, temel bileşenler yalnızca X_1, X_2, \dots, X_p 'nin kovaryans matrisine (Σ) (veya korelasyon matrisine (ρ)) bağlıdır ve geliştirilmeleri için çok değişkenli normal kabulüne ihtiyaç yoktur. Diğer yandan, çok değişkenli normal popülasyonlar için türetilen temel bileşenler, sabit yoğunluklu elipsler için faydalı yorumlar içerir. İlave olarak, popülasyon çok değişkenli normal olduğunda örnek bileşenlerinden kestirimler yapmak mümkündür. Varsayalım rastgele vektör $\mathbf{X}' = [X_1, X_2, \dots, X_p]$, özdeğerleri $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ olan kovaryans matrisi Σ 'ye sahip olsun. Bu durumda doğrusal kombinasyonlar şu şekilde ifade edilir;

$$\begin{aligned} Z_1 &= a_{11} X_1 + a_{12} X_2 + \dots + a_{1p} X_p \\ Z_2 &= a_{21} X_1 + a_{22} X_2 + \dots + a_{2p} X_p \\ &\square \qquad \qquad \qquad \square \\ Z_p &= a_{p1} X_1 + a_{p2} X_2 + \dots + a_{pp} X_p \end{aligned} \tag{2.11}$$

Buradaki a_{ij} değerleri “temel bileşen katsayıları” olarak adlandırılır. Doğrusal kombinasyonların özelliklerini hatırlayalım. $\mathbf{Z} = \mathbf{A}\mathbf{X}$ doğrusal kombinasyonu için,

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\mu}_Z &= E(\mathbf{Z}) = E(\mathbf{A}\mathbf{X}) = \mathbf{A}\boldsymbol{\mu}_X \\ \Sigma_Z &= \text{Cov}(\mathbf{Z}) = \text{Cov}(\mathbf{A}\mathbf{X}) = \mathbf{A}\Sigma_X\mathbf{A}' \end{aligned} \tag{2.12}$$

Bu özelliklerden yararlanarak aşağıdaki sonuca ulaşabiliriz.

$$\text{Var}(Z_i) = \mathbf{a}_i' \Sigma \mathbf{a}_i \qquad i = 1, 2, \dots, p \tag{2.13}$$

İşte temel bileşenler, Eşitlik (2.13) ile ifade edilen varyansın en büyük olduğu, ilişkisiz Z_1, Z_2, \dots, Z_p doğrusal kombinasyonlarından başka bir şey değildir. En yüksek varyansa sahip olan doğrusal kombinasyon birinci temel bileşendir. Bu durumda; birinci temel bileşen:

$\mathbf{a}_1' \mathbf{a}_1 = 1$ olmak koşuluyla, $\text{Var}(\mathbf{a}_1' \mathbf{X})$ 'in en yüksek olduğu $\mathbf{a}_1' \mathbf{X}$ doğrusal kombinasyonu,

İkinci temel bileşen:

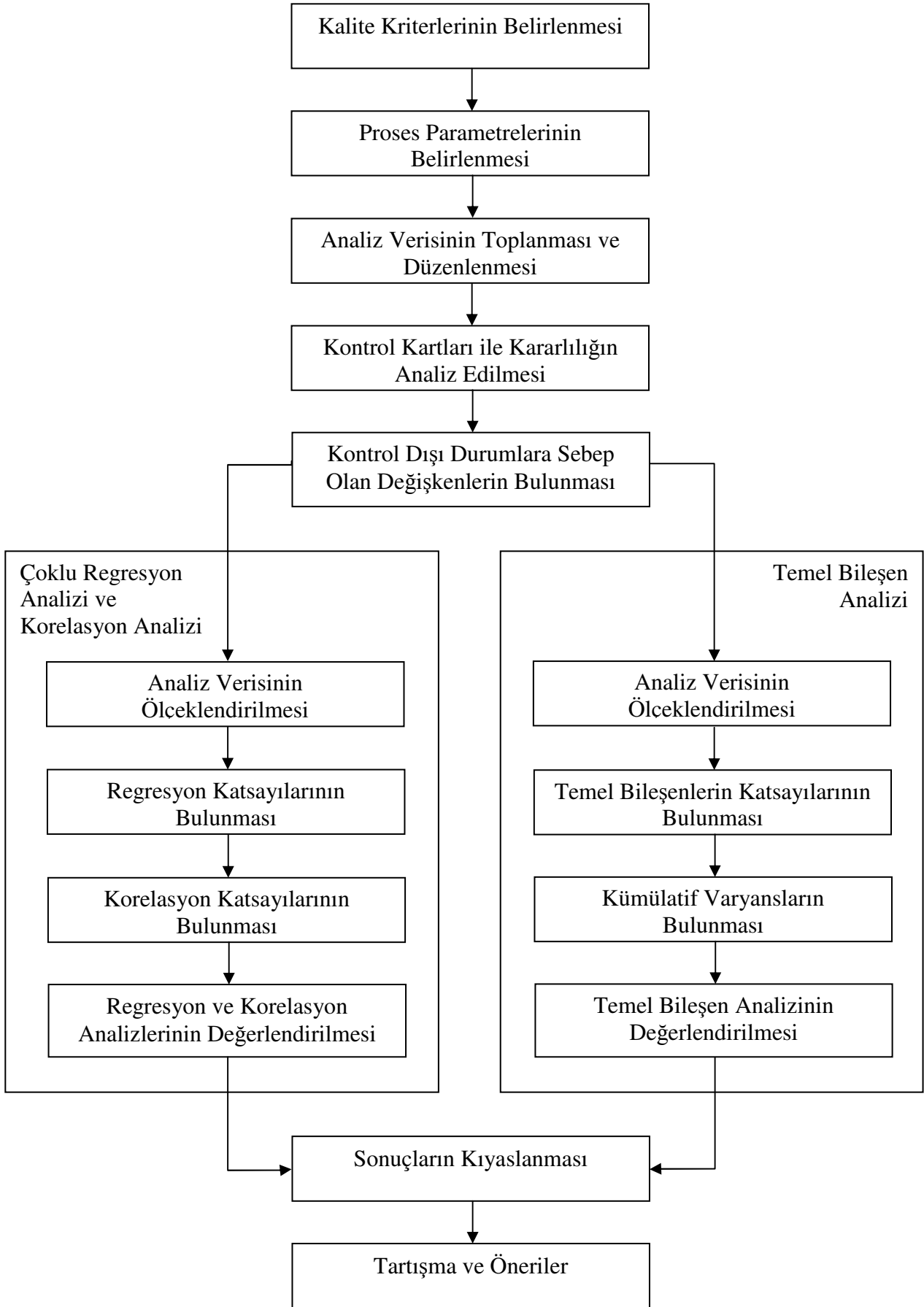
$\mathbf{a}_2' \mathbf{a}_2 = 1$ ve $\text{Cov}(\mathbf{a}_1' \mathbf{X}, \mathbf{a}_2' \mathbf{X}) = 0$ olmak koşuluyla, $\text{Var}(\mathbf{a}_2' \mathbf{X})$ 'in en yüksek olduğu $\mathbf{a}_2' \mathbf{X}$ doğrusal kombinasyonu ve i -ninci temel bileşen:

$\mathbf{a}_i' \mathbf{a}_i = 1$ ve $k < i$ için $\text{Cov}(\mathbf{a}_i' \mathbf{X}, \mathbf{a}_k' \mathbf{X}) = 0$ olmak koşuluyla, $\text{Var}(\mathbf{a}_i' \mathbf{X})$ 'in en yüksek olduğu $\mathbf{a}_i' \mathbf{X}$ doğrusal kombinasyonu olacak şekilde bulunabilir.

Değişkenlerle temel bileşenler arasındaki korelasyonlar, bileşenlerin yorumlanmasını kolaylaştırmakla birlikte; bunlar sadece münferit bir X değişkeninin belirli bir Z bileşenine yaptığı tek değişkenli katkıyı ölçer. Yani bunlar, diğer X 'lerin varlığında belirli bir X 'in belirli bir Z bileşenine yaptığı katkıyı göstermezler. Bu nedenle bazı istatistikçiler, bileşenler yorumlanırken sadece temel bileşen katsayılarının kullanılmasını ancak korelasyonların kullanılmamasını önerirler. Değişkenlerin belirli bir bileşene yaptıkları katkının önemini değerlendirirken, katsayıların veya korelasyonların kullanımını analizi farklı sonuçlara götürme potansiyeline sahip olmakla beraber, bu farklılık pratikte kayda değer miktarda olmamaktadır. Büyük katsayılı değişkenler göreceli olarak ciddi korelasyona sahip olma eğilimindedir ve bu durumda hem çok değişkenli hem de tek değişkenli ölçülerin her ikisi birden sıklıkla benzer sonuçlar verir (Johnson and Wichern 1998). Yani temel bileşenlerin yorumlanmasında katsayıların ve korelasyonların birlikte değerlendirilmesi ilave fayda sağlayabilir.

2.5 PROBLEMİN TANIMLANMASI VE ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Üzerinde çalışılan temel problem, ürün kalitesinin artırılmasıdır. Ürün özelliklerinin ve proses parametrelerinin sayısı ileri analiz teknikleri kullanmaksızın çözümlenebilecek seviyenin çok ilerisindedir. Bu amaçla, ilk olarak, ürün kalitesini temsil edecek olan kriterler tespit edilecek ve daha sonra kaliteyi etkileme potansiyeli olan asgari sayıdaki proses parametresi üzerinde çalışılacaktır. Kalite kriterleri ve kaliteye etki eden parametreler belirlendikten sonra, Tek Değişkenli ve Çok Değişkenli Kontrol Kartları yardımıyla prosesin kontrol altında olup olmadığı araştırılacak ve -varsa- kontrol dışı durumların hangi değişkenlerden kaynaklandığı tespit edilecektir. Bir sonraki aşamada baskın proses değişkenlerini bulmak için Çoklu Regresyon Analizi, Korelasyon Analizi ve Temel Bileşen Analizi'nden faydalanılacaktır. Son olarak, elde edilen sonuçlar mukayese edilecek ve genel bir değerlendirme yapılacaktır. Bu çözüm yaklaşımı Şekil 2.7'de, akış şeması biçiminde, verilmiştir.



Şekil 2.7 Çözüm yaklaşımı.

BÖLÜM 3

TORBA KAĞIDI KALİTE KRİTERLERİ

Alternatif ambalaj malzemelerinin artması, çok katlı kağıt torbaların rekabet edebilme yeteneğini azaltmıştır. Bu ise kağıt torba üreticilerinin çok katlı torba imalatında kullandıkları kağıttan daha fazla şeyler beklemesini beraberinde getirmiştir (Kerr 1996). Bu aşamada torba imalatçıları, bir yandan ürün performansını artırma diğer yandan maliyetleri aşağı çekme baskısı ile yüz yüze gelmiştir. Bunu başarabilmenin yollarından birisi torba kalitesini (dayanımını) azaltmaksızın birim kağıt tüketimini yani bir adet torba üretebilmek için gerekli olan kağıt miktarını azaltmaktır. Bu aşamada, son kullanım performansında önem teşkil eden kağıt özelliklerini doğru biçimde tanımlamak son derece kritiktir. Zira bu konuda yayınlanmış çok sayıda makale olmakla birlikte uygulamada, fabrika çalışanları arasında uzlaşmış, net kriterler ve sayısal göstergeler bulunmamaktadır.

3.1 KAĞIT ÖZELLİKLERİ VE TEST YÖNTEMLERİ

Son kullanımına bağlı olarak kağıt, bir çok özelliğe sahiptir. Bu özellikleri optik, mekanik, fiziksel vb. sınıflara ayırmak mümkündür. Kağıdın test edilmesi gereken özellikleri, işleyen ve/veya son kullanıcı için çok büyük önem taşır. Kabul kriterleri dahilinde olmayan bir değer sorunu çıkarması kuvvetle muhtemeldir. Bu konuda -beklenebileceği üzere- ulusal ve uluslararası standartlarda çok sayıda test yöntemi tariflenmiştir. Kağıt üretiminde öne çıkan ülkeler, standart üretiminde de öne çıkmıştır. Sektörde kabul gören standartlar Amerikan (TAPPI), İskandinav (SCAN) ve ISO standartlarıdır (Jaehn 1989). OYKA'da bahsi geçen tüm yabancı menşeli standartlar ve ilave olarak ISO standartlarından bire bir tercüme edilen Türk standartları mevcuttur.

Kağıdı işleyenler tarafından kağıdın su yönü diye tabir edilen elyaf yönlenmesi, bilhassa mukavemet özellikleri üzerinde büyük öneme sahiptir. Bu tip özellikler test edileceği zaman makine yönü (MD) ve dik yön (CD) mutlaka dikkate alınmalıdır. Benzer şekilde rutubet içeriği de test sonuçlarını ciddi biçimde etkileme potansiyeline sahip olduğundan test

öncesinde numunelerin şartlandırılması esastır. Rutubetin test edilen özellikleri etkilemesinin sebebi, kağıdın içinde bulunduğu ortamla rutubet alış-verişinde bulunmasıdır.

OYKA'da; girdi ürün, yarı ürün ve prosese dair analizlerin yanı sıra, üretilen kağıtların Çizelge 3.1'de verilen özellikleri son teknoloji cihazlarla düzenli biçimde test edilmektedir. Bu çalışmaya konu olan değerlerin sağlıklı olabilmesini sağlamak üzere tüm ölçümlerde şartlandırmanın yapılması ve test cihazının kalibre edilmesi sağlanmıştır. Geçmiş yıllardaki veriler şartlandırılmamış veriler olduğu için çalışma boyunca sadece, 03.08.2009 tarihinden itibaren ölçülmeye başlanan, şartlandırılmış veriler analiz edilmiştir.

Çizelge 3.1 OYKA'da test edilen temel kağıt özellikleri.

ÖZELLİK	BİRİM	TEST YÖNTEMİ		
		ULUSAL	ULUSLAR ARASI	
Gramaj	g/m ²	TS 3122 EN ISO 536	ISO 536	
Rutubet	%	TS 1301 EN:20287	ISO 287	
Kalınlık	µm	TS EN ISO 534	ISO 534	
Su Emiciliği	g/m ²	TS 609 EN 20535	ISO 535	
Hava Geçirgenliği	Gurley-s	TS ISO 5636-5	ISO 5636-5	
Patlama Mukavemeti	kg/cm ²	TS 3124 EN ISO 2758	ISO 2758	
Kopma Mukavemeti	MD CD	kN/m	Şu anda TS 3121-2 EN ISO 1924-2 yürürlükte. Yeni revizyonun çevirisi henüz yapılmadı.	
Uzama	MD CD			%
TEA	MD CD			
Yırtılma Mukavemeti	MD CD	gf	TS 4423 EN 21974	ISO 1974

Test koşulları: ISO 554 (23 °C - 50 % RH)

Kalite kriteri konusuna geçmeden, konunun daha iyi anlaşılabilmesi için, öncelikle kağıdın mukavemetle ilgili fiziksel özelliklerinin kısaca açıklanması gerekmektedir. Aşağıda verilen açıklamalar için ilgili uluslar arası standartlardan (ISO standartları) yararlanılmış ancak tanımlarda duruma özgü ufak değişiklikler yapılmıştır.

Gramaj: Kağıdın birim alanının, belirli bir deney metodu ile tayin edilen kütesidir ve g/m^2 birimi ile ifade edilir (ISO 536 1995). Şartlandırıldığında değerinde %2 civarında artış olur.

Patlama mukavemeti: Belirli şartlar altında, birim alana uygulanan hava basıncının numuneyi patlattığı anda ölçülen basınç değeridir (ISO 2758 2001). OYKA'da kağıdın patlama mukavemeti kg/cm^2 cinsinden ölçülürken Avrupalı üreticiler kPa birimini kullanırlar. Şartlandırmadan etkilenmez. Kağıdın patlama mukavemeti ile torbanın patlaması birbirine karıştırılmaması gereken iki ayrı kavramdır.

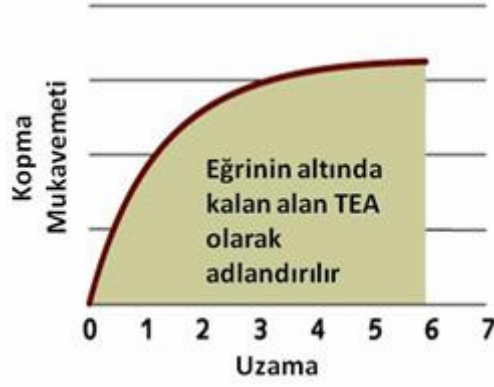
Kopma mukavemeti: Standart deney metodunda belirtilen şartlar altında, birim genişlikteki kağıdın kopmadan önce dayanabileceği en yüksek çekme kuvvetidir (ISO 1924-3 2005). Mutlak birimi kN/m, endeks birimi Nm/g'dır. Kopma mukavemeti değerleri MD ve CD için ayrı ayrı ölçülür. Şartlandırıldığında ölçüm değerinde % 5 civarında düşme olur.

Uzama: Standart deney metodunda belirtilen şartlar altında uzatıldığında, kağıdın kopma anında ölçülen uzamasıdır ve başlangıçtaki deney uzunluğunun yüzdesi olarak ifade edilir (ISO 1924-3 2005) Uzama değerleri MD ve CD için ayrı ayrı ölçülür. Şartlandırıldığında değerinde % 5 civarında artış olur.

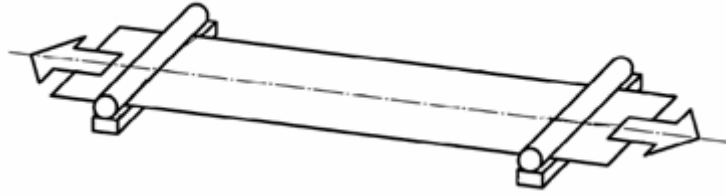
Kopma Enerjisi Absorpsiyonu (TEA): Kağıdın kopması için gerilmesi sırasında, birim alan başına emilen enerji miktarıdır (ISO 1924-3 2005). Diğer bir deyişle TEA, kopma mukavemeti-uzama eğrisinin altında kalan alan olarak tanımlanır (Bkz. Şekil 3.1) ve deney numunesini kopartacak işin ölçüsü olarak kullanılır. TEA değerleri MD ve CD için ayrı ayrı ölçülür. Mutlak birimi J/m^2 endeks birimi ise J/g 'dır. Şartlandırmadan kayda değer miktarda etkilenmez.

Kopma mukavemeti, uzama ve TEA değerleri; aynı cihazda, aynı test numunesinin test edilmesi esnasında (Bkz. Şekil 3.2) okunan kuvvet ve uzama değerlerinden faydalanılarak, test cihazı tarafından otomatik olarak hesaplanır.

Kağıdın mukavemetini gösteren değer mutlak birim olmakla birlikte, performansı kağıdın aktüel gramajından ayırarak sağlıklı bir değerlendirme yapabilmek için, endeks değerlerinin kullanılması gerekmektedir.



Şekil 3.1 Ölçülen kuvvet ve uzama değerlerinden TEA'nın hesaplanması.



Şekil 3.2 Kopma mukavemeti, uzama ve TEA deneyinin şematik gösterimi (ISO 1924-3 2005'ten değiştirilerek).

Yırtılma mukavemeti: Kağıdın tek tabakasındaki ilk kesik tarafından başlatılan yırtılmanın devam etmesi için gereken ortalama kuvvettir (ISO 1974 1990). İlk kesik makine yönünde ise, sonuç MD yırtılma mukavemeti olarak verilir, benzer şekilde ilk kesik karşı yönde ise sonuç CD yırtılma mukavemeti olarak verilir. Ölçüm neticesini mN veya gf olarak ifade etmek mümkündür¹. Şartlandırıldığında değerinde % 5 - 20 mertebelerinde artış olur.

Hava geçirgenliği: Belirli şartlar altında, birim zamanda, birim basınç farkı altında birim alandan geçen ortalama hava miktarının bir ölçüsüdür (ISO 5636-5 2003). OYKA'da hava geçirgenliği Gurley-s cinsinden ölçülür. Bu, 1.23 kPa'lık ortalama basınç farkı ve 6.42 cm² deney alanında 100 mL havanın, kağıdın içinden, ortalama kaç saniyede geçtiğini ifade eder. Şartlandırmadan etkilenmez.

¹ OYKA'da yırtılma mukavemeti gf cinsinden ölçülmektedir ancak gf cinsinden endeks değeri sektörde kullanılmadığı için analiz edilecek mutlak değerler mN'a çevrildikten sonra endeks değerleri hesaplanacak ve bu değerler analiz edilecektir.

3.2 KALİTE KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Kağıdın, kağıt makinesindeki üretimi esnasında, torba üretimi sırasında ve nihai kullanımdaki performansını etkileyen çok sayıda özelliği vardır. Kağıt özelliklerine ilave olarak torbanın sahip olduğu tasarım özellikleri ve torba üretim kalitesi de her biri ayrı öneme sahip inceleme konularıdır. Ancak bu çalışmanın kapsamına sadece nihai kullanım performansına etki ettiği düşünülen kağıdın mukavemet özellikleri ve bu özelliklerin kağıt makinesindeki oluşum süreci dahil edilmiştir¹.

3.2.1 Torba Performansına Etki Eden Kağıt Özellikleri

Çağdaş torba tasarımında kağıt, katlanarak alttan ve üstten yapıştırılır. Üst kısımda yer alan valf sayesinde, malzeme hava ile taşınarak torbaya doldurulur. Bu yüzden torbanın patlamaya karşı göstereceği mukavemet ile hava geçirgenliğinin birlikte düşünülmesi gerekir. Torba içinde fazla basınç oluşmasının engellenmesi ve torbanın doldurma, taşıma, depolama esnasında üzerine binen yüklere dayanabilmesi (patlamaması) için kağıdın yeterince dayanıklı olması gerekir. Çok katlı kağıt torba örnekleri Şekil 3.3'te, çimento fabrikalarında dolum esnasında patlama örneği ise Şekil 3.4'te verilmiştir.

Hava geçirgenliği konusu yeterince açık olmakla birlikte torbanın dayanıklılığını belirleyen/etkileyen kağıt fiziksel özelliklerinin neler olduğu ve bunların hangi mertebede bulunması gerektiği konusunda hem uygulamacılar arasında hem de literatürde küçük de olsa görüş ayrılıkları mevcuttur. Bundan sonraki kısımda çeşitli görüşlere yer verilecek ve nihayetinde, sağlıklı veri analizini mümkün kılacak, en uygun kalite kriterleri tespit edilecektir.

3.2.1.1 Literatür Araştırması

Kraft kağıdının sahip olması gereken mukavemet özellikleri ile ilgili, Kuzey Amerika'da ve İskandinav ülkelerinde, 1950'li yıllardan itibaren titiz çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Smook 1988). Günümüze kadar gelen süreçte temel araştırmaların önemli bir bölümü ta-

¹ Torbanın, çimento fabrikasındaki dolum performansıyla ilgili sektörde kabul gören oran azami %2'dir. Nakliye esnasında ya da bayi deposunda torba patlaması kesinlikle istenmez.

mamlanmış ve birçok temel soruya yanıt bulunmuştur. Bu nedenle incelenen kaynakların bir kısmı oldukça eski tarihli ve tamamı yabancı menşelidir. Konu hakkında objektif bir değerlendirme yapabilmek amacıyla ilgili kaynaklardan doğrudan alıntı yapmak uygun olacaktır.



Şekil 3.3 Çok katlı kağıt torba örnekleri (Fotoğraf: OYKA arşivi 2008).



Şekil 3.4 Dolum esnasında patlama örneği.

“Çok katlı kağıt torbalar hızlı dolum işlemine tabi tutulurlar. Torba performansı, diğer faktörlere ilave olarak, torba kağıdının hava geçirgenliğine bağlıdır Torbanın hava geçirgenliğini artırmak için tüm yüzeyin 0.3 mm çapındaki iğnelerle delinmesi ve/veya valf bölgesinin hemen altındaki 20 cm x 15 cm’lik kısmın 0.5 - 1.0 mm çaplı iğnelerle, delikler arası mesafe 7 - 10 mm olacak şekilde, delinmesi havayı tahliye etmenin en etkin yoludur. Bu yöntemin en sakıncalı tarafı, deliklerin, kağıdın mukavemetini azaltacak olmasıdır. Önce yüksek mukavemetli kağıt üretip ardından kısmen de olsa kağıdı zayıflatmanın bir anlamı olmasa gerek. Buradan yola çıkılarak torba üreticileri ile kağıt üreticileri arasında bir işbirliğine gidilmiştir. Amaç, yüksek kağıt mukavemetini muhafaza ederek, 20 - 25 Gurley-s seviyesindeki hava geçirgenliğini ciddi biçimde artırmaktır¹..... Böylece 80’lerin sonuna kadar aşamalı biçimde 10-16 Gurley-s seviyesine ulaşılmıştır. 1994’e gelindiğinde ise ortalama değer 5 saniyeye inmiştir. Günümüzde torba kağıtları üç farklı hava geçirgenliğinde üretilmektedir. 10 saniyenin altında yukarıdakine benzer bir mukavemet kaybının ortaya çıktığı gözlenmektedir. TEA %10 kadar azalmaktadır². Bu durumda optimum mukavemet-hava geçirgenliği seviyesinin 10-12 saniye olduğu sonucuna ulaşılabilir. 5 saniyelik yüksek hava geçirgenlikli kağıtlar toz şeklindeki bazı özel malzemelerin paketlenmesinde kullanılır. Ayrıca yüksek hava geçirgenlikli kağıttan imal edilen torbaların boyutlarının daha küçük olduğu görülmüştür³.” (Kaliebe 1996)

“Çok katlı torba performansına etki eden önemli özellikler aşağıda verilmiştir:

- Yüksek CD ve MD TEA
- Asgari elyaf yönlenmesi (kare kağıt⁴)
- Yüksek CD ve MD uzama
- Asgari hava direnci

..... Yapılan deneyler neticesinde muhteviyatı 50 kg olan kağıt torbanın patlamaması için 400 J/m²’lik TEA ve 20 Gurley-s’nin altında bir hava geçirgenliği gerekmektedir. 2 katlı torba için gerekli MD ve CD TEA değeri her bir kat için en az 200 J/m² olmak zorundadır.” (Kerr 1996)

Torba imalatında kullanılan kağıdın özelliklerini belirlemek için, kağıt torbaların nasıl patladığına dair, Kuzey Amerika’da ve Avrupa’da çok sayıda araştırma yapılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki;

- Dolu torba yer düzlemine dik olarak düşürüldüğünde TEA değeri kritik parametredir.

¹ Hava geçirgenliğinin artması, Gurley-s cinsinden ölçülen değerini aşağıya düşmesidir.

² 10 saniyenin altındaki hava geçirgenliğine ulaşabilmek için öğütümün asgari seviyede tutulması gerekir ki bu durum kopma mukavemetini (ve haliyle TEA’yı) azaltır.

³ Bu ise torba üretiminde %10’a kadar kağıt tasarrufu, ayrıca nakliyede ve stoklamada alan tasarrufu sağlamaktadır.

⁴ Kare kağıt, MD ve CD TEA değerleri kabaca eşit olan kağıttır.

- Eğer torba yer düzlemine paralel şekilde düşürülürse, torbanın patlamaması için hem TEA hem de yırtılma mukavemeti değerinin yüksek olması gerekir.
- Torba tek katlı değil ise, kuvvetlerin katlar arasında düzenli olarak yayılabilmesi için yüksek uzama değeri esastır. (Smook 1997)

“Kağıtçı bakış açısından, kraft torba kağıdı özel bir ilgi çeker ve iki majör gerekliliği bünyesinde barındırır; mukavemet ve hava geçirgenliği. Kağıt, zorlayıcı yükleme ve boşaltma koşullarına dayanabilecek mukavemete sahip olmalıdır. Torbanın boşaltma esnasında, hor kullanılacağını (torbanın kamyondan atılması vb.) farz etmek gerekir. Bu demektir ki; kağıt açığa çıkan şoku emebilmeli veya “enerji emme kapasitesi” mümkün olduğunca yüksek olmalı. Ayrıca minör hasarların (küçük delikler, yaralanmalar vb.) daha fazla ilerlememesi için yırtılma mukavemetinin de yüksek olması gerekir. İkinci önemli gereklilik ise torbanın kolay doldurulabilmesidir. Dolum esnasında oluşan karşı basıncın artmaması için kağıdın hava geçirgenliği yüksek olmalıdır.” (Paulapuro 2008)

Çok katlı kağıt torbalar üzerinde bugüne kadar yapılan araştırmalarda, büyük ölçekli deneme sevkiyatları gerçekleştirilmiş ve torbanın darbeye karşı dayanımının bazen gereğinden fazla önemsendiği, demiryoluyla nakil esnasındaki patlamaların çoğunlukla itme kuvvetlerinden ve vagon duvarlarının ve zeminin bozukluğundan kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır.... Darbe dayanımı konusunda gelişim ihtiyacı olan tek alan, CD uzama ve TEA’dır. Bu sayede kazara meydana gelebilecek olan yer düzlemine dik düşümlere karşı ilave koruma sağlanmış olur.... Geçmişte kağıdın yönünü değiştirerek imal edilen torbaların patlama performanslarının ciddi biçimde iyileştiği raporlanmıştır. Uzayabilir kağıdın TEA MD değeri CD değerinden daha yüksek olduğu için bu yön değiştirme denemesi sayesinde torba yüzeyine dik yöndeki (kağıdın CD yönü) yüksek TEA’nın ne kadar önemli olduğu ispatlanmıştır.... Yırtılma mukavemetinin torba performansı üzerindeki rolü tamamen deneysel verilere dayanmaktadır. Çünkü yağ sızdırmayan kağıt gibi düşük yırtılma mukavemetli kağıtlardan yapılan torbaların kötü performans sergilediği kayıtlarda mevcuttur. Ulusal taşımacılık standardı¹, uzayabilir kağıtlardan imal edilen torbaların uygunluk değerlendirme kriteri olarak TEA’yı ve yırtılma mukavemetini dikkate almakta ve bu özelliklerin birbirini kompanze etmesine izin vermektedir.” (Carlson 1981)

Kaliteli kraft kağıdı dendiğinde sektörün önde gelen üreticileri Avrupalı firmalar olmakla birlikte, kraft kağıdı ile ilgili yapılan tüm çalışmalar arasında en değerlilerinden birisi 1957 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde başlatılan çalışmadır. Değeri; yüksek niteliğinden, derinliğinden ve yayınlanmış olmasından kaynaklanan bu çalışma, 13 firmanın sponsorluğunda Appleton Wisconsin’deki Kağıt Kimyası Enstitüsü tarafından yürütülmüştür. Yaklaşık on yıl süren, uzun soluklu bu araştırma programı kapsamında kraft kağıdına dair hemen her konuda titiz çalışmalar yapılmıştır. Proje 2033 olarak adlandırılan bu araştırmanın

¹ Amerikan Taşımacılık Standardı, Kural 40 (The Uniform Freight Classification, Rule 40).

kağıt özellikleri ile ilgili kısmı konsolide edilerek McKee ve Whitsitt tarafından 1963 yılında yayınlanmıştır. Konu hakkında objektif bir değerlendirme yapabilmek amacıyla bu makaleden de doğrudan alıntı yapmanın uygun olacağı düşünülmüştür. Akışı bozmamak adına sadece çok önemli kısımlara burada değinilmiştir.

“Bir çok araştırmacı laboratuvarındaki düşürme deneyi performansını torba kağıdı özellikleri ile ilişkilendirmeye gayret etmiş ve bir kısmı başarılı bir kısmı başarısız olmuştur. Bunlar arasından büyük ölçekli deneme sevkiyatlarının¹ laboratuvarındaki torba ve torba kağıdı deneyleri ile karşılaştırıldığı çalışmalar özellikle dikkate değerdir. Bu çalışmalarda kağıdın statik ve dinamik TEA’sı ile torba performansı arasında çok güçlü korelasyon bulunduğu raporlanmıştır. Hazırlanan rapora dayanarak Alman Kraft Torba Kağıdı Birliği bir kağıt spesifikasyonu yayınlamıştır. Ulusal taşımacılık standardına² dahil edilen bu spesifikasyonda torba kağıdının mukavemeti her iki yöndeki TEA değerine dayandırılmıştır. Diğer bir grup bilim adamı ise düşürme deneyi sonuçlarının kağıdın uzama ve TEA değerleri ile ilişkili olduğunu bulmuştur Genel olarak yer düzlemine paralel düşürme performansının ilişkili olduğu özellikler; uzama, TEA ve kağıt yorgunluğu ile TEA’nın bileşimini ölçen Frag veya Thwing-Albert darbe yorgunluk deneyleridir³. Bu özelliklere dayanan çoklu regresyonlarda torba performansı ortalamada \pm % 10 ila \pm % 20 doğrulukta kestirebilmektedir. Ancak kullanılan çözümleme yöntemlerine bağlı olarak daha büyük sapmalara rastlanılmıştır. Yer düzlemine dik düşürme performansı aynı kağıt özellikleri ile ilişkili olmakla birlikte CD değerlerin baskın olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca belirli bir torba tasarımında (örneğin 3 katlı 50 kg) valfli torbaların dikişli torbalardan ve uzayabilir kağıtların düşük MD uzamalı kağıtlardan (normal kraft) daha iyi performans sergilediği gözlenmiştir Kenar ve orta bobinlerin performansını karşılaştırmak amacıyla 1 numaralı çalışmadaki iki fabrikadan gelen kağıtlar kullanılmıştır. Deneme sonucunda kenar bobinlerin orta bobinlerden daha iyi performans sergilediği görülmüştür⁴.” (McKee and Whitsitt 1963)

¹ Belirli özelliklerde üretilen kağıtlardan üretilen yüksek miktarlı kağıt torbanın kontrollü biçimde müşterilerde tüketilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi esasına dayanan benzer bir çalışmayı 2007’de OYKA da yapmıştır.

² Alman Taşımacılık Standardı (Merkblatt II).

³ Frag ve Thwing-Albert gibi deneyler günümüzde kullanılmamaktadır. Ayrıca yapılan deneylerde, yırtılma ve patlama gibi daha önceden bahsi geçen özelliklerin torba performansı ile pek ilişkili olmadığı tespit edilmiştir.

⁴ Tüm kağıt makinelerinin profilinde “gülen yüz” tabir edilen bir bozukluk vardır. Kurutma partisinde makine eni boyunca vals/keçe ceplerinden rutubet uzaklaştırılması ortada daha zor kenarlarda daha kolaydır. Bu sebeple tamponun ortasına denk gelen bobinlerin uzaması (ve haliyle TEA’sı) kenarlara kıyasla ciddi biçimde düşüktür. Örneğin kenardaki (salon ve tahrik kısımlarındaki) uzama % 9 civarında iken ortadaki uzama % 6.5 - 7.0’lere kadar düşebilir.

3.2.1.2 Sektördeki Bazı Üreticilerin Beyanları

Kraft kağıdının sahip olması gereken mukavemet özellikleri ile ilgili tüm kağıt üreticilerinin ciddi çalışmalar yürüttüğünü anlamak zor değildir. Çünkü yapısı itibarıyla zor bir kağıt olan kraft torba kağıdına dair literatürdeki bilgi yol gösterici olmakla birlikte yeterli olmanın çok uzağındadır. Kaldı ki dünyada hammaddenin bir standardı olmadığı gibi kağıt makinelerinin ve işletme koşullarının da bir standardı yoktur. Bu durumda üreticilerin broşür, internet sitesi vb. çeşitli ortamlarda yaptıkları beyanların ve piyasada satılan torba kağıtlarının özelliklerindeki farklılıkların incelenmesi faydalı olacaktır¹.

AssiDoman firmasının, yüksek hava geçirgenlikli ve yüksek mukavemetli kraft torba kağıdı için aldığı patentin açıklandığı dokümanda (AssiDoman 1999), OYKA'nın ürettiği geleneksel torba kağıdının ve üretim yöntemi için patent aldıkları yüksek hava geçirgenlikli torba kağıdının sahip olduğu özellikler Çizelge 3.2'de tanımlanmıştır.

Çizelge 3.2 AssiDoman firmasının beyan ettiği torba kağıdı değerleri.

ÖZELLİK	GELENEKSEL TORBA KAĞIDI DEĞERLERİ		YÜKSEK HAVA GEÇİRGENLİKLİ TORBA KAĞIDI DEĞERLERİ	
	ENDEKS	MUTLAK ²	ENDEKS	MUTLAK
Kopma MD	-	-	75 Nm/g	6.8 kN/m
Kopma CD	-	-	60 Nm/g	5.4 kN/m
TEA MD	3.0 J/g	270 J/m ²	2.9 J/g	261 J/m ²
TEA CD	3.0 J/g	270 J/m ²	2.9 J/g	261 J/m ²
Uzama	-		< % 8	
Hava Geçirgenliği	18 Gurley-s		5 Gurley-s	

Torba kağıdının sahip olması gereken mukavemetin hesaplanabilmesi için AssiDoman'ın yayınladığı ürün tanıtım broşüründe TEA değerlerinin hesaplanmasıyla ilgili bir nomogram

¹ Kağıt sektörü, satın almalar ve birleşmeler suretiyle sürekli şekil değiştirmekte ve bu durum güncelin takibini olanaksız kılmaktadır. Bu yüzden kaynaklar değerlendirilirken yayının yapıldığı tarihlerdeki firma isimleri baz alınmıştır.

² Mutlak değerler 90 g/m²'lik kağıt için hesaplanmıştır.

verilmiştir. Buna göre, 50 kg'lık çimento torbasının patlamaması için gereken dengelenmiş TEA değerinin, normal şartlar altında, 400 J/m² olması gerektiği ifade edilmiştir.

Billerud firmasının yayınladığı ürün tanıtım broşüründe birçok fiziksel özellik tanımlanmakla birlikte torba dayanıklılık kriteri olarak dengelenmiş TEA üzerinde durulmuştur. 50 kg'lık çimento torbasının patlamaması için gereken dengelenmiş TEA endeksinin, normal şartlar altında 430 - 490 J/m², zorlu koşullarda 500 - 550 J/m² olması gerektiği vurgulanmıştır¹. Aynı broşürde geleneksel hava geçirgenlikli kağıtlardan üretilen torbalara perforasyon yapılması sonucunda % 10 - 20 arasında mukavemet kaybı olacağı belirtilmiş² ve yüksek hava geçirgenlikli kağıtların avantajlarına değinilmiştir. Ayrıca torbadaki deliklerin yırtılma başlangıcı olabileceğine vurgu yapılmış ve bu durumun mevcut olduğu hallerde (örneğin dikişli torbalar için) yırtılma mukavemetinin önem kazandığına dikkat çekilmiştir.

UPM firmasının yayınladığı broşürde iyi torba kağıdı dört nitelikle özdeşleştirilmiştir: Doğru tokluk, uygun hava geçirgenliği, iyi MD TEA ve mükemmel CD TEA. Dayanıklılık kriteri olarak MD ve CD TEA değerleri üzerinde durulmuş ve torbanın dayanıklılığının tespit edilmesine yönelik bir eşitlik tanımlanmıştır (Bkz. Eşitlik (3.1)).

$$S = CN (W_{MD} + 2W_{CD}) \quad (3.1)$$

S : Torbanın dayanıklılığı

N : Kat adeti

W_{MD} : MD TEA

W_{CD} : CD TEA

C : Sabit

Aynı dokümanda ilave olarak şu ifadelere de yer verilmiştir:

¹ ISO 1924-3'e göre verilen bu sınırların, 25 kg'lık torba için sırasıyla, 330 - 390 J/m² ve 430 - 490 J/m² olması gerektiği ifade edilmiştir.

² Bu tip broşürler ticari amaçla yayımlandığı için verilen değerlerin gerçeklerin biraz uzağında olabileceği dikkate alınmalıdır. Nitekim aynı firmanın bir başka yayınında bahsi geçen mukavemet kaybının % 10 olacağı öngörülmüştür. Konu hakkındaki diğer yayınlar ve OYKA'da yapılan denemelerin sonuçları dikkate alındığında, perforasyon, niteliğine bağlı olarak, azami % 10 civarında bir kayba neden olur diyebiliriz.

“Dolum şartlarına bağılı olarak değişmekle birlikte 20 - 25 Gurley-s civarındaki hava geçirgenliklerinin birçok uygulama için yeterlidir Kaba bir optimizasyon için sadece CD TEA değerlerini kullanmak yeterli olur Katların CD TEA değerleri toplamının (ΣW_{CD}) 400 J/m²'ye ulaşmasının yeterli olduğu birçok defalar kanıtlanmış olmakla birlikte bu durum kontrollü doldurma, elleçleme ve taşıma şartları için geçerlidir. Farklı bölgelerin dayanıklılık ihtiyaçları (ΣW_{CD}) da farklıdır ve taşıma elleçleme işlemleri kritik öneme haizdir. Örneğin uzun mesafeli ihracatlarda ΣW_{CD} 'nin bazen 1000'in üzerinde olması gerekir çalışabilirliği yüksek bir kağıt olan WEX-SP, 20 - 25 Gurley-s hava geçirgenliğine ve 2.5'ten büyük CD TEA endeks değerine sahiptir. Kalite kontrol talimatımız sevk edilen WEX-SP90 bobinlerinin en az % 90'ının CD TEA değerinin 200 J/m²'nin üzerinde olması yönündedir.”

Mondi firmasının yayınladığı broşurde torba kağıdı değerlendirme kriteri olarak sadece CD TEA değeri işaret edilmiş ve 50 kg'lık torbalar için minimum 400 J/m², 25 kg'lık torbalar için minimum 300 J/m² toplam TEA değerine sahip olunması gerektiği ifade edilmiştir.

Korsnas firması kraft torba kağıdının üretim yöntemine dair bir patente sahiptir. Bu patent dokümanında, kraft torba kağıdının mukavemet karşılaştırmalarında kullanılan kriterler; kopma mukavemeti, uzama, TEA ve hava geçirgenliğidir (Korsnas 1988).

Belli başlı kraft torba kağıdı üreticilerinin, esmer, yarı-uzayabilir ve uzayabilir 90 g/m²'lik kraft torba kağıdı için, çeşitli tarihlerde yayınladıkları ürün spesifikasyonlarında beyan ettikleri fiziksel kağıt değerleri izelge 3.3'te verilmiştir.

3.2.2 Kağıttaki Varyasyon

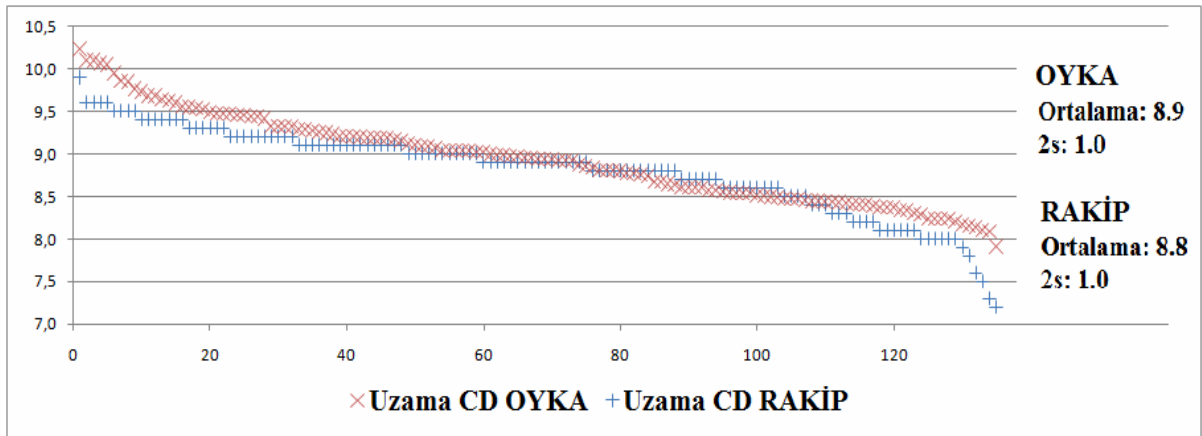
Kağıttaki varyasyonu anlamaya yardımcı olacak  önemli nokta vardır. Birincisi varyasyonun doğal olduğudur. Hammadde türleri kendi içinde değişkenlik gösterebildiği gibi aynı türün farklı bölgelerde yetişen bireyleri değişik özellikler sergileyebilmektedir. Ek olarak, ağacın yetiştiği yıllar içinde gelişen iklim olayları, depolardaki bekleme süreleri ve benzeri çok sayıdaki etken göz önüne alındığında kağıt üretim partileri arasında değişkenlik olması kaçınılmaz hale gelmektedir. İkinci nokta kağıt üretim aşamalarının her birinde, ürüne değişkenlik yüklenmesidir. Muhtelif sebepler arasında; bölümler arasındaki fiziksel uzaklıklar, operatörler arasındaki farklılıklar, prosesin birçok aşamasındaki değişken ara stoklar, işletme tercihleri, ekipmanlardan veya girdilerden kaynaklanan değişkenlikler vb. sayılabilir.

Çizelge 3.3 Belli başlı kraft torba kağıdı üreticilerinin, esmer, yarı-uzayabilir ve uzayabilir 90 g/m²'lik kraft torba kağıdı için, ürün spesifikasyonlarında beyan ettikleri fiziksel kağıt değerleri.

ÖZELLİK	BİRİM	YARI-UZAYABİLİR KAĞITLAR (SEMI EXTENSIBLE)												UZAYABİLİR KAĞITLAR (EXTENSIBLE)						19
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Gramaj	g/m ²	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Kopma MD	kN/m	6.4	6.5	6.5	6.5	6.5	5.9	6.3	6.5	6.8	6.2	7.2	7.7	6.4	6.1	6.1	6.1	6.3	6.2	-
Kopma CD	kN/m	3.6	4.1	4.3	4.5	4.7	5.0	4.3	4.8	5.0	4.8	5.2	5.2	3.6	4.1	4.1	4.3	4.3	4.9	-
Uzama MD	%	6.0	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.0	6.5	5.8	6.8	7.5	7.0	7.4	7.4	7.0	7.0	6.7
Uzama CD	%	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	6.5	7.5	7.5	7.0	7.8	7.4	8.8	7.0	7.0	7.4	7.4	7.0	7.0	7.2
TEA MD	J/m ²	220	195	215	225	225	225	225	225	216	240	260	289	245	245	243	252	240	250	234
TEA CD	J/m ²	180	195	215	216	225	225	235	230	243	250	260	310	180	190	207	225	230	245	222
Yırtılma MD	mN	1350	-	900	-	-	1170	1125	1125	1080	1215	945	1147	1500	-	-	-	990	1260	1143
Yırtılma CD	mN	1710	-	1080	-	-	1170	1260	1305	1170	1215	1080	1265	1900	-	-	-	1080	1350	1332
Patlama	kPa	530	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	588	-	-	-	-	610	590
Hava Geçirgenliği	Gurley-s	18	17	17	18	18	25	14	17	18	15	15	15	18	17	18	18	25	18	15
Kopma, Uzama, TEA ölçüm standardı (ISO...)		1924/2	1924/2	1924/2	1924/2	1924/2	1924/2	1924/2	-	-	1924/3	1924/3	1924/3	1924/2	1924/2	1924/2	1924/2	1924/2	1924/2	-
1: Horizon, Semi Extensible Sack Kraft Paper, 2004		2: Frantschach Swiecie, Semi Clupak, 2000						3: Frantschach, Advantage Semi Extensible, 2003												
4: Intercell Poland, Sack Paper Semi Extensible ISE, 2003		5: Stora Enso Poland, Optima SE, 2007						6: Segezha, Semi Extensible, 2005												
7: Stambolijski, Semi Extensible Sack Paper SXP, 20..		8: Natron Hayat, Semi Extensible Sack Paper, 2009						9: UPM Kymmene, Walki Wex SP 90, 20..												
10: Smurfit Kappa, Nertop Semi Extensible, 2009		11: Mondi, Advantage Semi Extensible, 2008						12: Tolko, Kraft Unbleached SPX, 2008												
13: Horizon, Extensible Sack Kraft Paper, 2004		14: Frantschach Swiecie, Clupak, 2000						15: Intercell Poland, Sack Paper Extensible IE, 2003												
16: Stora Enso Poland, Optima Ex, 2007		17: Stambolijski, Extensible Sack Kraft FXP, 20..						18: AssiDoman, Royal Semi Extensible, 1996												
19: Metso'nun veri tabanında bulunan 17 adet torba kağıdı makinesinin ortalama endeks değerlerinin 90 g/m ² için mutlak değerlere dönüştürülmüş hali. Bu yöntem çok sağlıklı olmamakla birlikte fikir vermesi açısından faydalıdır.																				

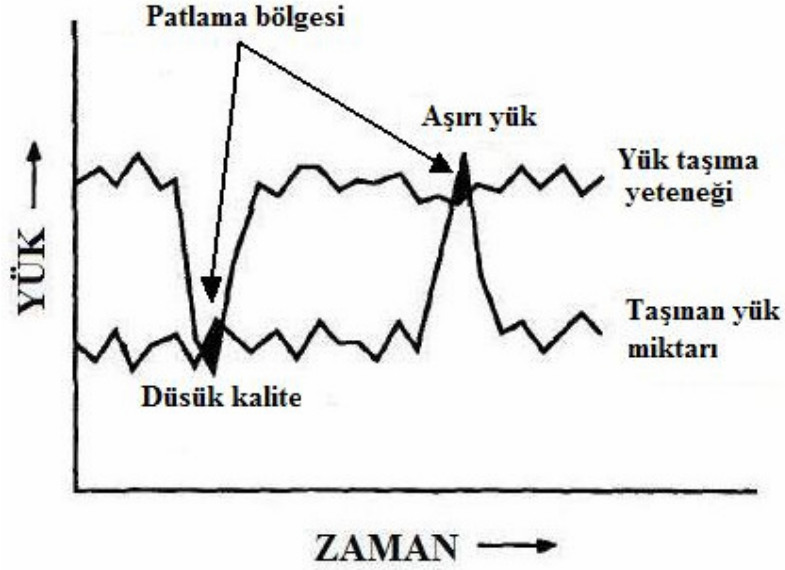
Son ve en önemli nokta ise varyasyonun yönünün ve büyüklüğünün anlaşılmasıdır. Varyasyon mikroskobik ölçek dahil her yeredir; milimetreden kilometreye, saniyeden seneye, yukarıdan aşağıya, sağdan sola ya da ileriden geriye. Proses analizi konusunda, yerli yan sanayi olmadığı için, dış mühendislik hizmeti alma imkanı olmayan gelişmekte olan ülkelerdeki fabrikalar için kağıttaki varyasyon, her tamponda (yani yaklaşık saat başı) ölçülen değerlerinin yukarıda sayılan görsel yöntemlerle analiz edilmesinden ibarettir.

Kağıt sektöründe kabul gören varyasyon ölçüsü 2-sigma'dır (2s). Yani herhangi bir fiziksel özellikteki (örneğin kopma mukavemetindeki) varyasyonunun boyutu hakkında fikir edinmek isteyenlerin başvurduğu yöntem, verilerin standart sapmasının iki katını almaktan ibarettir. Ancak pratik görünen bu yöntemin ne kadar yararlı olduğu tartışılır. Çünkü analiz verisinin normal dağılım sergilemeyebilir ve bu durumda sadece rakamlara bakmak hatalı neticelere ulaştırır. Bu yüzden uygulamada, rakamlardan ziyade, dağılım grafiği, histogram, gidiş grafiği ve sıralanmış veri grafiği gibi görsel yöntemler sıkça kullanım alanı bulmaktadır. Bu duruma örnek olarak Şekil 3.5'te, OYKA ve rakip kağıt uzama CD değerleri karşılaştırması verilmiştir (her iki fabrikanın ardışık 135 adet tampon değeri). Ortalama ve 2s değerleri aynı olmakla birlikte, gerçekte uzama seviyeleri özdeş değildir.



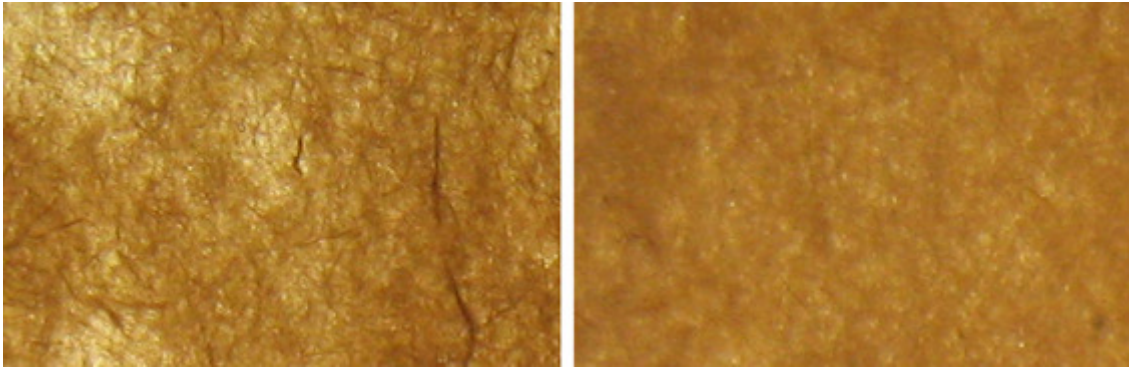
Şekil 3.5 OYKA kağıdı ile rakip kağıdın uzama CD değerlerinin karşılaştırılması.

Kağıt torbanın yük taşıma yeteneği ile torba üzerine binen yüklerin uyumsuzluğunda patlamanın ne şekilde gerçekleştiği Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6 Torbanın patlama bölgeleri (Cutshall 1990'dan değiştirilerek).

Bu çalışma kapsamında ele alınacak olmamakla birlikte, mikro varyasyona örnek teşkil etmesi açısından, Şekil 3.7'de iki farklı kağıdın yakından görünüşü karşılaştırılmıştır. Görüldüğü üzere soldaki kağıdın elyaf şebekesi homojen değildir ve kağıtta kıymık vb. çok sayıda gayri safilik mevcuttur. Bunların mukavemeti düşüreceği ve değişkenliği artıracığı muhakkaktır.



Şekil 3.7 İki farklı kağıdın yakından görünüşü.

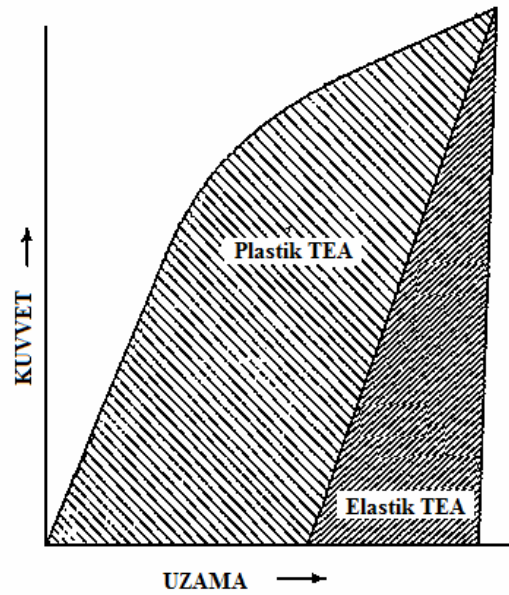
3.2.3 Kağıt Kalite Kriterlerinin Seçilmesi

Buraya kadar yapılan açıklamaları ve Çizelge 3.5'i dikkatli biçimde incelediğimizde bilim adamlarının ve piyasadaki kağıt üreticilerinin hangi kriterleri önemli gördüğü ve hangi sınır değerlere ulaşılmasını öngördüklerine dair net bir yargıya ulaşmak mümkündür: *Hava*

geçirgenliği ve TEA diğer tüm kağıt özelliklerine baskın çıkmaktadır. Bu durumda, 90 g/m²'lik kağıttan 50 kg'lık 2 katlı çimento torbası imal edildiğinde, torbanın patlamaması için basitçe; “20 Gurley-s'nin altında hava geçirgenliği ve kullanım şartlarına bağlı olarak 500 J/m²'nin üzerinde dengelenmiş TEA değeri yeterli olur” gibi görünmektedir.

Bu tespitle birlikte, sadece TEA değerine odaklanmanın hatalı sonuçlar doğurabileceğini düşünmek mantıklı olacaktır. Literatürde çok az bahsi geçmekle birlikte TEA'yı oluşturan bileşenlerin ayrı ayrı incelenmesi zorunlu görülmektedir. Çünkü OYKA kağıt değerleri ile rakip kağıtların değerleri karşılaştırıldığında OYKA'daki yüksek TEA değerlerinin her iki yönde de yüksek uzamadan kaynaklandığı görülmektedir¹. McKee and Whitsitt'e (1963) göre, uzamanın yüksek ve düşük olduğu olduğu bölgelerdeki TEA, elastik ve plastik olarak iki farklı şekilde tanımlanmıştır.

Şekil 3.8'de verilen bu tespitten hareketle, hava geçirgenliğine ilave olarak, TEA'nın bileşenlerin (kopma ve uzama) ayrı ayrı ve kağıt yönü dikkate alınarak incelenmesi uygun olacaktır.



Şekil 3.8 TEA'nın “elastik” ve “plastik” bileşenleri (McKee and Whitsitt 1963'ten değiştirilerek).

¹ Bu durum, kuvvetle muhtemel, yerli hammaddenin doğasından kaynaklanmaktadır. Çünkü geçmişte Brezilya ve Ukrayna selülozundan üretilen kağıtların uzama CD değerleri düşük çıkmıştır. Ayrıca Avrupalı üreticilerin hemen hemen tamamı OYKA'nın tersine soğuk bölge odunu (kış odunu) kullanmaktadır.

MD ve CD uzama değerlerine ayrı ayrı müdahale etmek ve arzu edilen yönde değiştirmek zor değildir. Ancak kopma mukavemetini artırabilmek hem MD hem CD için çok zordur. Buradan hareketle kalite kriteri olarak kopma mukavemetinin belirlenmesi idealdir. Ancak analiz sürecini daha basit ve daha sağlıklı kılmak amacıyla kopma mukavemeti endeks değerlerinin ortalamasının alınması gerekmektedir. Bu durumda kalite kriteri olarak ortalama kopma mukavemetinin seçilmesi yeterli olmaktadır. Ancak prosesin kontrol altında olup olmadığının araştırılması aşamasında, kağıt kalite kontrol laboratuvarında çıkan her tampon için, (yaklaşık saatte bir) llen aşağıdaki kağıt özelliklerinin tamamı¹, kalite kriteri olarak analize tabi tutulacaktır:

- Ortalama Kopma Mukavemeti Endeksi
- Hava Geçirgenliği
- Ortalama Yırılma Mukavemeti Endeksi
- Kağıt Rutubeti
- Kağıt Kalınlığı
- Patlama Mukavemeti Endeksi
- Arka Yüzdeki Su Emiciliği (Cobb₆₀)
- Ortalama Uzama

¹ TEA değeri kopmaya ve uzamaya bağlı olduğu için sadece bu özellikler değerlendirmeye alınmıştır.

BÖLÜM 4

KAĞIT ÜRETİMİ VE PROSES PARAMETRELERİ

4.1 KAĞIT ÜRETİM PROSESİ

Kağıt fabrikalarının üretim süreçleri; fabrikanın entegre olup olmadığı, selüloz üretme yöntemi, kullanılan hammadde, üretilen kağıt türü, üretim kapasitesi vb. çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu değişkenliğin boyutunun belirleyicisi, esasında, selüloz üretim yöntemidir. Çünkü günümüzde kullanılan kağıt makineleri, 1799'da icat edilen Fourdrinier (sonsuz elek) sisteminin geliştirilmiş hallerinden ibarettir ve fabrikadan fabrikaya çok büyük farklılık göstermezler.

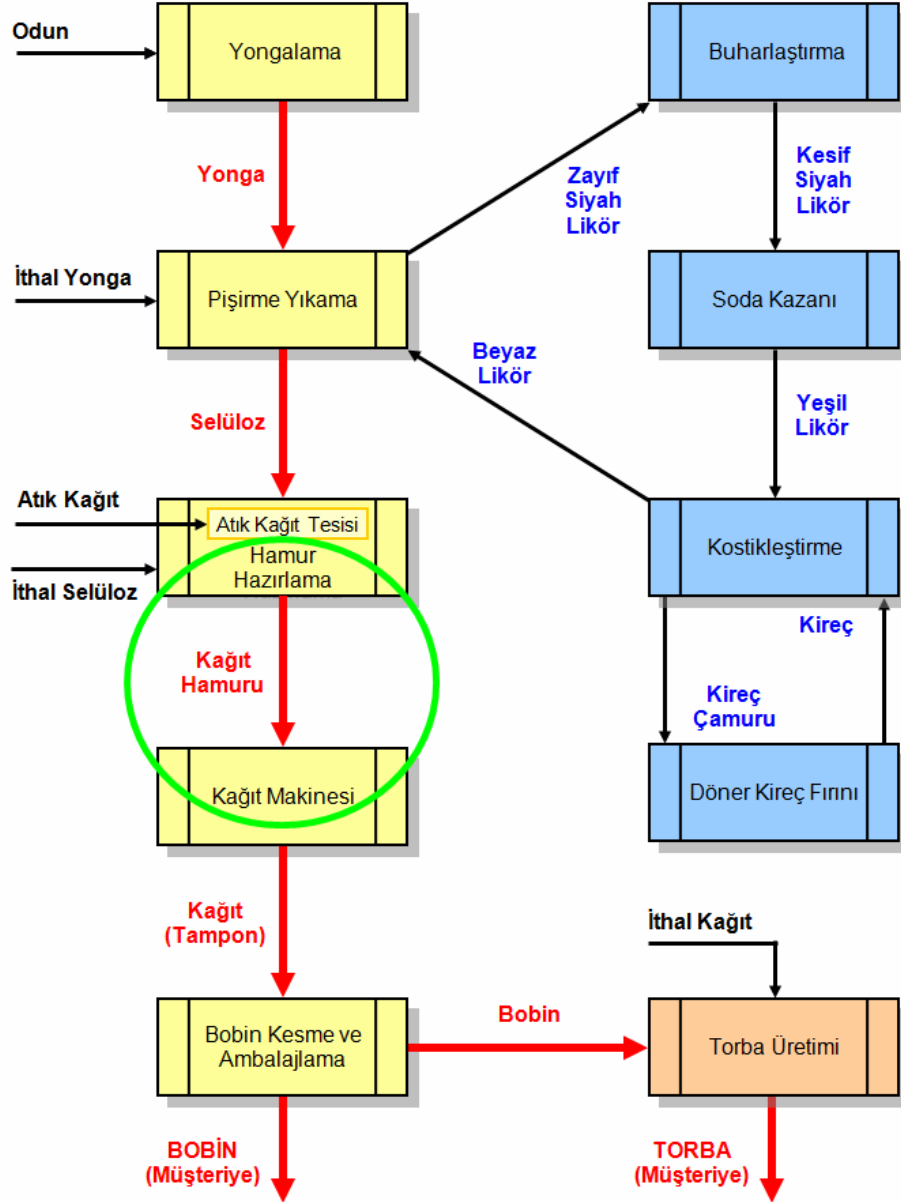
4.1.1 Entegre Kağıt Üretimi

Entegre kağıt fabrikalarında önce odundan selüloz elde edilir, devamında ise selülozdan kağıt üretilir. Ancak bazı kağıt türleri atık kağıtların geri dönüştürülmesi ile üretildiği için bu tip kağıtları üreten fabrikalarda selüloz bölümü yoktur, fabrika sadece kağıt makinesinden ibarettir. Benzer durum, selülozu dışarıdan alarak üretim yapmayı tercih eden fabrikalar için de geçerlidir.

Ülkemizdeki otuzun üzerinde kağıt fabrikası olmakla beraber, 2010 yılı itibarı ile tam kapasite çalışan tek entegre kağıt fabrikası OYKA Çaycuma kağıt fabrikasıdır. Şekil 4.1'de verilen OYKA temel üretim akış şemasının kısa açıklaması aşağıdaki gibidir.

OYKA Çaycuma Fabrikası'na ulaşan odunlar, kabuklu ise kabukları soyulduktan sonra, yongalama makinelerinde 20x25x5 mm anma ebadındaki parçalara ayrılır ve elde edilen yarı ürün (yonga), stoklama silosuna alınır. Buradan, her biri 120 m³'lük beş adet kesikli pişirme kazanından sıradakine doldurulan yongaya, su ve pişirme kimyasalları (beyaz likör) ilave edilir. Belirli bir basınç, sıcaklık ve sürede pişirilen yongalar çözülerek elyaflarına ayrılır. Pişirme döngüsü tamamlandığında hamur halini alan çözelti elenir, yıkanır ve elde edilen

selüloz kağıt yapımında kullanılmak üzere her biri 1500 m³'lük altı adet kesif hamur stoklama kulesine basılır.



Şekil 4.1 OYKA’da kraft kağıt üretim akış şeması.

Yıkama esnasında çözeltilerden ayrılan su, lignin, pişirme kimyasalı vb.den oluşan sıvı, zayıf siyah likör olarak adlandırılır ve geri kazanım tesisinde sırasıyla önce kesif siyah liköre, ardından yeşil liköre ve nihayet beyaz liköre dönüştürülerek pişirme kimyasalı olarak kullanılmak üzere pişirme kazanlarına geri gönderilir.

Kesif hamur kulelerinden ihtiyaç nispetinde çekilen selüloz, hamur hazırlama tesisinde öğütülür ve içine gerekli kimyasallar ilave edilerek kağıt hamuruna dönüştürülür. Öğütülmüş hamur, 998 birim su ve 2 birim elyaf olmak üzere hamur kasasından sonsuz eleğe verilir. Elek üzerinde suyun büyük miktarı süzülür ve çıkışta % 18 kuru maddede safiha oluşur. Sonrasında presler ve kurutma silindirleri marifetiyle içerdiği su uzaklaştırılarak pres partisi çıkışında % 36, kurutma partisi çıkışında % 93 kuruluğa eriştirilen kağıt, makine sonunda 8 - 10 tonluk tamponlar halinde sarılır. Üretilen tamponlar, müşterilerin talebine göre oluşturulan kombinelerde kesilerek bobin halini alır ve ambalajı yapılan bobinler torba imalatında kullanılmak üzere OYKA Adana ve Çaycuma torba fabrikalarına ve diğer müşterilere gönderilir.

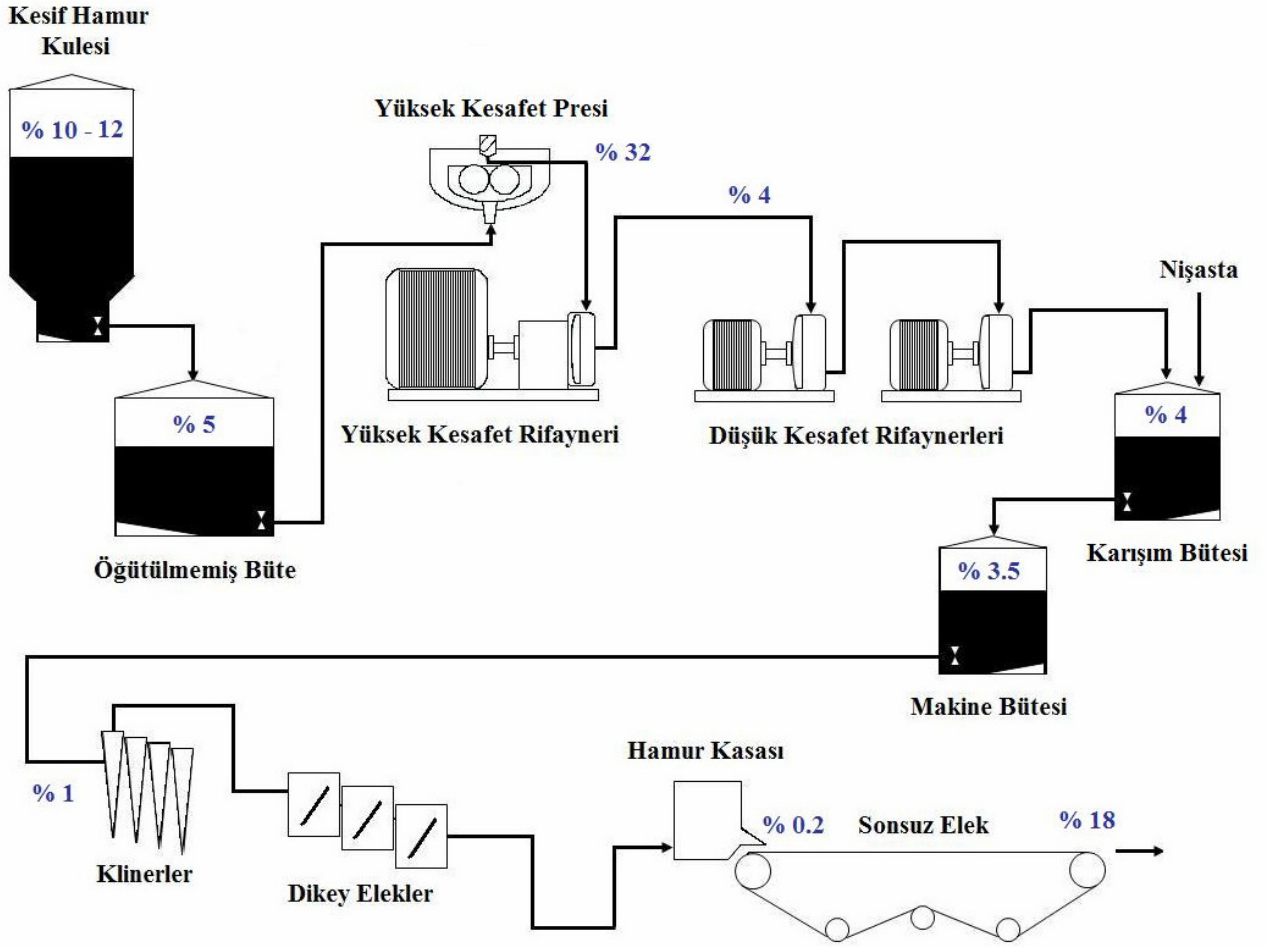
Torba fabrikalarındaki üretimin, birbirini izleyen, iki temel aşaması vardır. Birinci aşamada bobin halindeki kağıt hortum makinesinde silindir şekline sokularak belirli uzunlukta kesilir. Oluşan yarı ürün hortum olarak adlandırılır. İkinci aşamada otomatik olarak ventil makinesine beslenen hortumların dipleri kapatılır ve valf tabir edilen doldurma ağızları oluşturulur. Böylece üretimi tamamlanmış olan torbalar paketlenerek sevkiyata hazır hale getirilir.

Normal şartlarda ürün kalitesi üzerinde bir çalışma yapılacaksa sitemin bütününün ele alınması gerekir çünkü entegre fabrikalarda her bir ekipmanın nihai ürünün kalitesini etkileme potansiyeli vardır. Ancak prosesin devasa boyutları göz önüne alındığında olay bireysel yeteneklerin sınırlarını aşar ve çok fonksiyonlu bir ekip kurulabilmiş olsa bile sonuca ulaşmak uzun yıllar alır. Bu yüzden geri kazanma ve selüloz üniteleri ile kağıt makinesinin yarısı kapsam dışında bırakılarak sadece hamur hazırlama ve kağıt makinesinin yaş kısmı üzerinde çalışılmıştır (Bkz. Şekil 4.1'de daire içine alınan kısım).

4.1.2 Hamur Hazırlama ve Yaş Kısım

Şekil 4.2'de şematik gösterimi verilen hamur hazırlama ve yaş kısımdaki temel adımlar şunlardır: Kesif hamur kulesindeki hamur, % 10 - 12 kesafette¹ iken, öğütülmemiş bütüye pompalanma-dan önce % 5 kesafete seyreltilir. Yüksek kesafet presi tarafından % 32 kesafete ulaştırılan hamur yüksek kesafet rifaynerinde öğütülür. Sonrasında tekrar % 4 kesafete seyreltilen hamur, bu kez, 2 kademeli düşük kesafetli öğütüme tabi tutulur.

¹ Kesafet sözcüğü yoğunluk anlamına gelmekle birlikte OYKA'da, elyaf-su çözeltilisinin kuru madde oranı, anlamında kullanılmaktadır.



Şekil 4.2 OYKA hamur hazırlama ve yaş kısım şematik gösterimi.

Öğütülen hamur yoğunluk farkı ilkesine göre çalışan klinelerde temizlenir ve ardından dikey eleklerde elenir. Bu esnada çeşitli kademelerde çeşitli kimyasallar ilave edilir ve hamur kasasından % 0.2 kesafette sonsuz eleğe verilir. Elek üzerindeki su giderme elemanları ve drenaj kimyasallarının da yardımıyla suyun büyük kısmı eleğin altına geçer (süzülür) ve elek üzerinde, çıkışta, % 18 kuru maddede, safiha tabir edilen ilk kağıt oluşur. Yaş kısım burada biter ve pres partisi başlar.

“Öğütüm kağıdın kalbidir”, “kağıt hamur hazırlamada başlar ve biter” benzeri söylemler pratikte sık kullanılmaktadır. Kağıda, kritik bir çok özellik, hamur hazırlamada kazandırıldığı için esasında bunlar haklı yakıştırmalardır. Çalışmanın kapsamının hamur hazırlama ve yaş kısım ile sınırlandırılmasının en önemli sebebi budur.

4.2 PROSES PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Kağıt üretim prosesinde ürün kalitesini etkileme potansiyeli olan parametrelerin sayısı 200'ün üzerindedir. OYKA kağıt üretim mühendisleri tarafından tespit edilen proses parametrelerinin sadece hamur hazırlama ve yaş kısım ile ilgili olanları Ek Açıklamalar A'da verilmiştir.

4.2.1 Önemli Proses Parametreleri

Belirlenen sınırlarındaki prosesler aşağıda açıklanmış ve önemli olduğu düşünülen parametreler için OYKA'daki deneyimin yanı sıra büyük ölçüde Smook (1988) ve Kerr'den (1996) yararlanılmıştır. Smook, selüloz ve kağıt sektöründe duayen olarak kabul edilen ve sektörün tarihindeki en çok satan kitabı yazan son derece önemli bir kaynaktır. Kerr ise çok katlı kraft torba kağıdı prosesini kağıt kalitesine bağlamayı başarmış en faydalı makaleye imza atmıştır.

4.2.1.1 Yüksek Kesafette Öğütme

Yüksek CD TEA değerleri elde edebilmek için yüksek kesafetli öğütüm anahtar noktadır. Yüksek kesafetli öğütüm, %20'nin üzerindeki kesafetlerde öğütüm olarak tanımlanır. Hamurda ve kağıdın özelliklerinde önemli bir etki elde edebilmek için %30'un üzerindeki kesafetlerde çalışılır. %30'un altındaki kesafetlerde çalışıldığında hamurdaki su, elyaflar arası yağlayıcı malzeme davranışı sergiler ve öğütüm enerjisini soğurur. Bu ise rifayneri yükleme yeteneğini ve dolayısıyla elyafların istenilen şekilde öğütülmesi yeteneğini azaltır.

Yüksek kesafetli öğütüm elyafların; iç saçaklanmasına, kıvrılmasına ve eksenel kompresyona sebep olur. Son iki etki kağıtta CD uzamayı geliştirirken, ilk etki kağıdın mukavemetini artırır. Ayrıca bu etkiler elde edilirken, düşük kesafetli öğütümün tersine, hava geçirgenliğindeki kayıp düşük seviyelerde kalır.

Prosesin bu aşamasındaki izlenmesi gereken en önemli parametreler, hiç tartışmasız, öğütümün şiddeti (refining intensity) ve öğütüm işlemi esnasında hamura verilen enerjinin miktarıdır (net spesifik enerji - specific net energy).

4.2.1.2 Düşük Kesafette Öğütme

Yüksek kesafetli öğütümden sonra hamur normal olarak %4 kesafete seyreltilir ve akabinde en az bir kademeli düşük kesafetli rifayner ile öğütülür. Düşük kesafetli öğütümün amacı kopma mukavemetini azami seviyeye çekmektir. Düşük kesafetli öğütümün çeşitli etkileri vardır: Elyafların saçaklanması, kesilmesi, ezilmesi, esnemesi.

Azami kopma mukavemeti için elyafların iç ve dış saçaklanması gereklidir. Hava geçirgenliğinin azalmaması için ise, kesmenin asgari seviyede tutulması gerekir. En iyi neticeye ulaşabilmek için rifayner bıçak deseninin çok dikkatli seçilmesi gerekir. Kopma mukavemetini azami seviyeye çekmedeki zorluk, ölü elyaf oranının artması ve hava geçirgenliğinin azalmasıdır.

Elyafları kesmeksizin ve hava geçirgenliğini düşürmeksizin mukavemet kazanmak için yeterli miktarda öğütüm yapabilmeyen can alıcı noktası, hamurun Kappa numarasıdır. Ayrıca hamura verilen enerjinin dikkatli biçimde kontrol edilmesi çok önemlidir (iki kademeli düşük kesafetli öğütüm tercih edilmelidir). Bu sayede tek kademedeki verilen enerjinin, elyafı keserek önemli miktarda ölü elyaf üreteceği seviyenin altında kalması ve elyaf saçaklanması sağlanmış olur. Online hava geçirgenliği ölçüm cihazı tarafından kontrol edilen makine (trim) rifayneri ile hava geçirgenliğini kontrol altında tutarken azami seviyede öğütüm yapılmış olur. Öğütüm işleminin önemine binaen, Smook'un (1988) dikkat çektiği parametreler, değiştirilmeden, olduğu gibi verilmiştir.

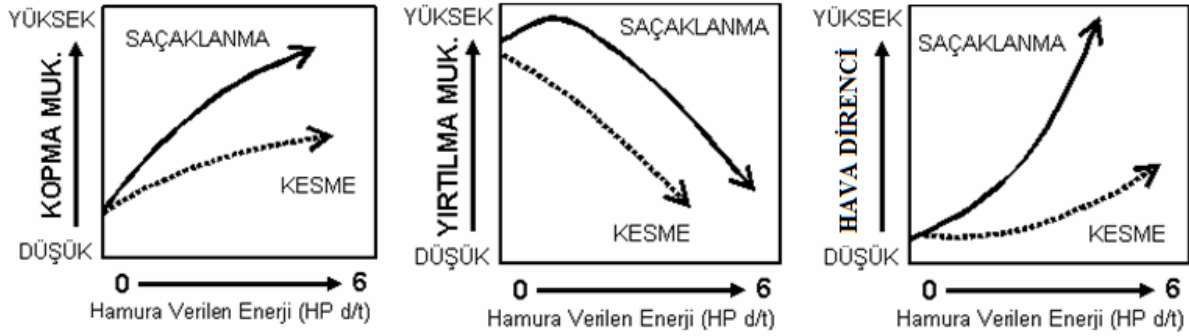
Hammadde kaynaklı parametreler: Odun türü, pişirme yöntemi, pişirme derecesi, beyazlatma işlemi, hazırlayıcı işlemler (kurutma, mekanik işlemler vb.), elyaf boyu dağılımı, elyaf kabalığı, yaz odunu/kış odunu oranı, kimyasal kompozisyon (lignin, selüloz, hemiselüloz).

Bıçak Karakteristikleri: Çubuk ölçüsü ve şekli, çubukların ve çukurların alanı, çukurların derinliği, bentlerin varlığı/yokluğu, bıçak malzemesi, aşınma desenleri, çubuk açıları, bıçak dönüş hızı (çevresel hız).

Proses Değişkenleri: Sıcaklık, pH, kesafet, kimyasallar, ön işlemler, üretim hızı, hamura verilen enerji.

Düşük kesafetli öğütümün kalite kriterleri üzerindeki etkisi Şekil 4.3'te verildiği gibidir. Çok temel olarak ifade etmek gerekirse;

- Öğütüm arttıkça kopma mukavemeti artar
- Öğütüm arttıkça yırtılma mukavemeti önce artar sonra azalır
- Öğütüm arttıkça hava geçirgenliği azalır (hava direnci artar)



Şekil 4.3 Öğütümün temel özellikler üzerindeki etkisi (Hagemeyer and Manson 1992'den değiştirilerek).

4.2.1.3 Kimyasal Ekleme ve Karıştırma

Kağıt makinesinin yaş kısım kimyası, safihanın (elek üzerindeki kağıdın) sağlıklı biçimde oluşturulabilmesi açısından çok önemlidir. Bu ise hamur kasasından önce, yaklaşım sisteminde, ayarlanır ve hamura; mukavemeti yükseltmek, tutunumu ve süzülmeyi artırmak amacıyla katyonik nişasta eklenir. Hamur kasası öncesinde katyonik nişasta kullanımının, kağıt mukavemeti ve uzaması ile kağıt makinesindeki tutunumu ve süzülmeyi artırdığı hem literatürde mevcuttur hem de OYKA'daki tecrübeyle sabittir. Yüksek mukavemetli kağıt üretirken, mukavemet amaçlı eklenen nişastanın en iyi ekleme noktalarının ve miktarının belirlenmesi gerekir.

Karıştırma işlemi, hamurun ve hamura eklenen kimyasalların iyice karışması açısından son derece kritiktir ancak karıştırma etkinliğinin direk biçimde ölçülmesi olası değildir. Dolaylı olarak; kağıdın eperi, birim kimyasal tüketimleri ve mukavemet değişkenliği ile ilişkilendirme mantıklı olsa da pratikte mümkün değildir.

4.2.1.4 Temizleme ve Eleme

Standart temizleme elemanları hidrosiklon klinerlerdir ve yoğunluk farkı ilkesine göre hamurun kum, kir vb. gayri safiliklerden arındırılmasında kullanılır. Dikey elekler ise daha büyük parçaları tutarak hamur kasasını ve eleği korur. OYKA'daki elekler de bu amaçla konmuş 2.2 mm delikli polis eleklerdir. Prosesin bu aşaması, diğerleri gibi, çok önemli olmakla birlikte, kayda değer bir ayarlama gerektirmediği için parametre seçiminin dışında bırakılmıştır.

4.2.1.5 Safiha Oluşturma

Safiha oluşturmadaki parametreleri Kerr'den (1996) direk olarak almak faydalı olacaktır:

“Sentetik tutunum kimyasalları, ölü elyafların kağıt üzerinde tutunumunu artırmak için kullanılır. Bu sayede kağıt üzerinde tutunan ölü elyaf miktarı kontrol edilerek ve elek altı suyunda ölü elyaf birikmesi önlenerek, hava geçirgenliğinin daha iyi kontrol edilmesi sağlanır. Bu ise hamur kasasına giden hamurun öğütüm kabiliyetinin artırılmasına bir diğer etkidir. Tutunumu artırma avantajı kullanılarak eperi iyileştirmek için daha düşük hamur kasası kesafetlerinde çalışılması mümkün olur.

İlk geçiş tutunumunun yüksek seviyelerde olması (%90'nın üstü), hamur yaklaşım sistemine giren ölü elyafların kağıtta kalmasını sağlar. Yüksek ilk geçiş tutunumu, kısa sirkülasyon hattında ölü elyaf birikimini önler ve böylece kağıttaki ölü elyaf miktarının değişkenliği azaltılarak hava geçirgenliği de azaltılmış olur. Bu, hava geçirgenliğini istenen seviyede sabit tutarken düşük kesafetli öğütüme müdahale edebilmenin en etkin yoludur.

Hava geçirgenliği değişkenliğinin asgari seviyede tutulması öğütümün optimize edilebilmesini sağlar. Şayet değişkenlik en aza indirilebilirse, istenen ortalama değerde çalışmak kolaylaşır. Spesifikasyon aşılmadan ortalama değer yukarı çekilebilir veya optimize edilebilir. Hava geçirgenliği sınır değerleri dahilinde kalarak, düşük kesafetli öğütüm azami mukavemeti verecek şekilde optimize edilebilir.

En yüksek kağıt mukavemet değerine ulaşabilmek için bazı parametrelerin optimize edilmesi gerekir. Öğütümün optimize edilmesinin ardından sıradaki değişken kağıdın eperidir.

Eper iyileştikçe kağıdın kopma mukavemeti artar. Eper kötüleştikçe kağıt üzerindeki bazı bölgelerin gramajı azalacak ve bu bölgelerin temel gramajdan farkı artacak. Düşük gramajlı bölgeler doğal olarak daha az mukavim bölgelerdir. Kağıt en düşük mukavemetli noktasından kopacaktır. Gramaj dağılım düzensizliği azaldıkça, kağıdın toplam kopma mukavemeti artacaktır.

Eperi iyileştirmenin bir yolu hamur kasası kesafetini düşürmektir. Bu sayede hamurun elek üzerinde daha iyi yayılması ve böylece eperin iyileşmesi sağlanmış olur. Hamur kasası kesafetleri % 0.2'nin altında tutulmalıdır. Burada anımsatmakta fayda var; uzun elyaflardan oluşan hamurdan iyi bir eper elde etmek zordur. Ayrıca elyafların makine boyuna (MD) yönlendirilmesi gerekir.

Özetlemek gerekirse; ilk geçiş tutunumu, hamur kasası kesafeti ve elyafların boyuna yönlendirilmesi hususlarına dikkat çekilmektedir. Bunların tamamı OYKA'nın deneyimleri ile örtüşmektedir. Ek olarak göğüs valsli sarsıntı sisteminden bahsetmek mutlak gereklidir. OYKA'da sarsıntı tertibatı devrede iken mukavemet değerlerinin en az % 15 civarında arttığı gözlenmiştir. Buradaki önemli parametre ise sarsıntı numarasıdır¹.

4.2.2 Proseste Yapılan Sabitleme Çalışmaları

Çalışmanın başlangıcından itibaren üretim alanında yapılan gözlemler ve kalite iyileştirme araştırmaları neticesinde;

- Bazı çok önemli parametrelerin sabitlenmesinin,
- Tam performans göstermeyen ekipmanların elden geçirilmesinin ve
- Proses konfigürasyonunun yeniden düzenlenmesinin mutlak gerekli olduğu

meydana çıkmıştır. Buradaki amaç prosesin kendisinden kaynaklanan varyasyonu asgariye çekebilme ve bu sayede prosesi, kabul edilebilir ölçülerde, kararlı varsaymaktır. Aksi halde izlenecek proses parametreleri ile seçilen kalite değerleri arasında sağlıklı ve faydalı ilişkiler bulmak mümkün olmazdı.

Bu kapsamda selülozun kappası 50'ye, iletkenliği 1200 µS/cm'ye sabitlenmiş ve yüksek kesafet presi çıkış kuru maddesinin her zaman % 30'un üzerinde olması sağlanmıştır. Benzer şekilde; makine hızı, düşük kesafetli rifaynerlerin öğütüm kesafeti, rifayner sayıları, sarsıntı tertibatının ayarları ve nişasta haricindeki kimyasalların miktarı gibi birçok önemli proses parametresi sabit tutulmuştur. Sorunlu olan 3 numaralı düşük kesafet rifayner baskı sistemi, hidrolikten elektromekaniğe dönüştürülmüş, hamur santrali karıştırıcısı faal hale getirilmiş, polidiske bakım yapılmış ve formasyon kasasının iki ilerisindeki su giderme kasası

¹ Sarsıntı tertibatının görevi, göğüs valsini (ve sonuç olarak sonsuz eleği) sarsarak elek üzerinde ilave hareketlilik yaratmaktır. Bu işlemin, esasında, süzgeçte un elemekten farkı yoktur. Sarsma işleminin ölçüsü, sarsıntı numarası olarak adlandırılır ve şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Sarsıntı numarası} = (\text{Sarsıntı boyu} \times \text{Sarsıntı frekansının karesi}) / \text{Makine hızı}$$

devre dışı bırakılarak yaş çizginin ileriye gitmesi, böylece IBS kasaların daha etkin çalışması sağlanmıştır. İthal selülozun homojen biçimde açılabilmesi için işlem öncesi ıslatma işlemi başlatılmıştır. Mevcut nişasta pişiricisinin kapasitesi artırılarak 20 kg/ton-kağıt nişasta verme imkanına ulaşılmıştır. Rifaynerlerin boşa çektikleri yük için tespit çalışmaları yapılmış ve yükler sabitlenmiştir. Serbest büzülmenin sağlanması için satıştan kombinelerin uygun biçimde alınması ve kurutma silindirlerinde buhar kapatma uygulamasının ortadan kaldırılması sağlanmıştır. Öğütülmemiş hamurun geri döndürülmesi sağlanmış ve bu sayede ürüne karışması engellenmiştir. Kimyasalların dozlama ve sisteme eklenme şekilleri iyileştirilmiştir. 90S üretimlerinde direk yol çalışma sağlanmış ve kesafet düzenleri optimize edilmiştir.

4.2.3 Proses Parametrelerinin Seçilmesi

OYKA'da kurulu bir entegre proses izleme sistemi olmadığı için proses parametreleri analiz verisi; lokal otomasyon panolarından, rutin laboratuvar analizlerinden ve üretim kayıtlarından alınmıştır. Mevcut durumda proses verilerini tampon kalite değerleri ile örtüştürmek son derece zor bir görevdir. Proses parametre seçiminde kritiklik seviyesinin yanı sıra bu zorluk da belirleyici olmuştur. Ayrıca çalışma boyunca yapılan analizler esnasında, proses parametrelerine bazı ürün özelliklerinin dahil edilmesinin kalite gelişimine katkıda bulunacağı anlaşılmıştır. Buna göre seçilen proses parametreleri Çizelge 4.1'de verildiği gibidir.

Seçilen kalite kriterinin ve proses parametrelerinin sergilediği dağılım örnekleri histogram grafikleri şeklinde, proses parametrelerinin kalite kriteri arasındaki ilişki ise serpilme grafikleri şeklinde Ek Açıklamalar B'de verilmiştir.

Histogram grafiklerinde normal dağılımın yanı sıra çift tepeli dağılım, merkezden kaçık dağılım ve yaygın dağılım örnekleri mevcuttur. Serpilme grafiklerinde ise seçilen her bir parametre ile kalite kriteri arasındaki ilişkinin yönü, şekli ve kuvveti görülmektedir.

Çizelge 4.1 Seçilen proses parametreleri.

PROSES PARAMETRESİ	KISALTMA	BİRİM
Yüksek kesafet, net spesifik enerji	Enj_YKR	kWh/ton
Düşük kesafet, net spesifik enerji	Enj_DKR	kWh/ton
Toplam net spesifik enerji	Enj_Top	kWh/ton
Hamur kasası kesafeti	HK_KM	%
Jet/elek oranı	JE_Orani	-
Sarsıntı numarası	Sarsinti	s ⁻¹
Elek hızı	ElekHizi	m/dk
Nişasta miktarı	Nisasta	kg/ton
İthal selüloz oranı	IthalSel	%
Yerli selüloz oranı	YerliSel	%
Döküntü oranı	Dokuntu	%
Gramaj dağılımı	MsGr_2s	g/m ²
Rutubet 1 dağılımı	MsRt1_2s	%
Rutubet 2 dağılımı	Ms Rt2_2s	%
Kağıt rutubeti	Rutubet	%
Ortalama uzama	Uzama	%
Cobb 60 arka yüz	CobbArka	g/m ²
Kağıt kalınlığı	Kalinlik	µm

BÖLÜM 5

ANALİZLER VE TARTIŞMA

Bu bölümde, 384 farklı kağıt tamponunun üretimi esnasında toplanan kağıt özellikleri ve proses parametreleri verileri ile Tek Değişkenli ve Çok Değişkenli Kontrol Kartları oluşturulmuş, akabinde mevcut veri Çoklu Regresyon Analizi'ne (ÇRA), Korelasyon Analizi'ne (KA) ve Temel Bileşen Analizi'ne (TBA) tabi tutulmuştur. Çizelge 4.1'de verilen parametrelerin bir kısmı hamur hazırlama ve yaş kısım proses parametreleri, kalanı ise hammadde karışım parametreleri ve çalışmanın sınırları dışında tutulan süreçlerin (pres partisi, kurutma partisi vb.) etkilediği bazı ürün özellikleridir. Bu nedenle analizler, ihtiyaca göre;

- Sadece kağıt özelliklerini,
- Sadece proses parametrelerini veya
- Her ikisini de içerecek şekilde yapılmış ve aşağıda açıklandığı üzere iki parametre analiz dışına alınmıştır.

Analiz sonuçları, hazırlanan MATLAB programları ile elde edilmiştir. Bu program parçaları Ek Açıklamalar C'de verilmiştir. Proses parametrelerinin birimleri ve büyüklükleri birbirinden çok farklı olduğu için ÇRA aşamasında;

- Sıfır merkezli ve
- Sıfır merkezli, birim varyanslı olacak şekilde ölçeklendirilen veri kümeleri kullanılmıştır.

Ayrıca analiz verisinin sınıflandırılmasının faydalı olabileceği düşüncesinden hareketle ÇRA aşamasında;

- Tüm tamponlar (384 adet),
- Sadece yerli selüloz kullanılarak üretilen tamponlar (277 adet) ve
- Kağıt hamuruna %35 oranında ithal selüloz hamuru katılarak üretilen tamponlar (107 adet) olmak üzere üç farklı veri grubu kullanılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında analize dahil edilen “Toplam net spesifik enerji” ve “Elek hızı” parametreleri veriler arasında tam doğrusallık oluşmasına neden olmuştur. Korelasyon matrisinin incelenmesi ve konunun ilgili OYKA personeli ile tartışılması sonucunda bu parametrelerin bağımsız olmadıkları tespit edilmiştir. Bu nedenle bu iki parametre analiz dışına alınmıştır. Ayrıca, verinin sınıflandırılmasının neticesinde, hammadde ile ilgili parametreler (yerli selüloz oranı, ithal selüloz oranı ve döküntü) otomatik olarak analiz dışı kalmıştır. Bunların yerine, kritik üç mukavemet özelliği (hava geçirgenliği, yırtılma mukavemeti ve patlama mukavemeti) analize dahil edilmiştir.

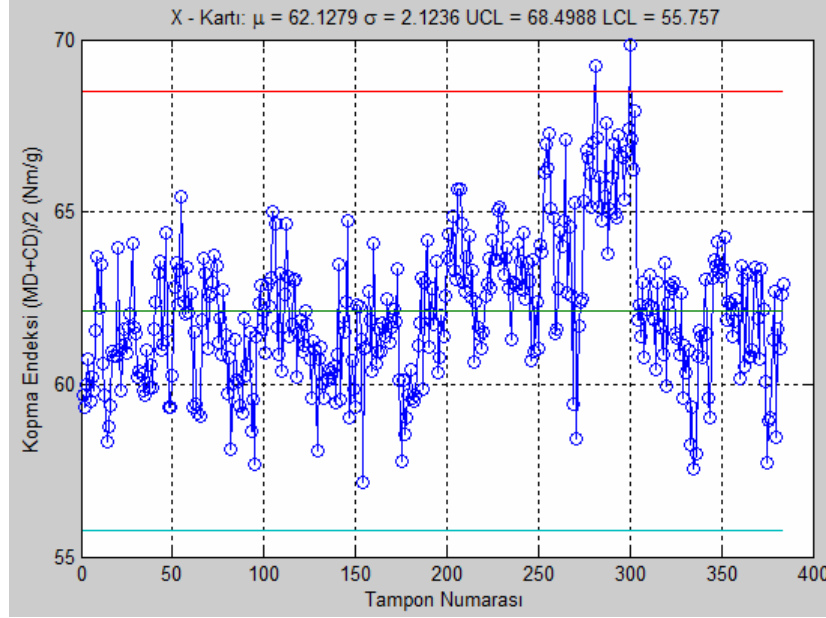
5.1 KONTROL KARTLARI

Tek değişkenli kontrol kartı uygulamasına örnek oluşturması açısından en önemli kağıt özelliği olan “Ortalama Kopma Mukavemeti Endeksi” için 3-sigma kontrol kartı oluşturulmuştur. X - Kartı şeklinde tasarlanan kontrol kartı Şekil 5.1’de verildiği gibidir. Buna göre $\bar{X} = 68.4988$ ve $AKL = 55.757$ ’dir ve 281 ile 300 nolu tamponlar üst kontrol limitinin dışına çıkmıştır. Ayrıca proseste, gözlem süresinin yaklaşık yarısından itibaren, yukarı yönde bir kayma dikkati çekmektedir. Bunun tesiriyle en az yedi adet ardışık değer in ortalama çizgisinin altında ve üstünde olduğu birçok dizi gözlenmektedir. Yapılan incelemede bu kaymanın hammadde değişikliğinden (ithal selüloz kullanımından) kaynaklandığı tespit edilmiştir. ÜKL’nin dışına çıkan 281 ve 300 nolu tamponların üretim şartları incelendiğinde ise, bu tamponların ithal selülozla ve mukavemet artırma amaçlı yüksek miktarda nişasta (20 kg/t) denemesinin yapıldığı dönemde üretildiği görülmektedir. Yani oluşturulan kontrol kartı prosesi kontrol dışına sürükleyen özel sebeplerin varlığını (ithal selüloz kullanımı ve nişasta denemesi) tespit edebilmiştir.

Çok değişkenli kontrol kartlarının oluşturulması aşamasında, çıkan her tampon için (yaklaşık saatte bir) kalite kontrol laboratuvarında ölçülen aşağıdaki kağıt özelliklerinin tamamı (sekiz adet), kalite kriteri olarak analize dahil edilmiştir:

- Ortalama Kopma Mukavemeti Endeksi (KopmaEnd)
- Hava Geçirgenliği (HavaGec)
- Ortalama Yırtılma Mukavemeti Endeksi (YirtılmaEnd)
- Kağıt Rutubeti (Rutubet)
- Kağıt Kalınlığı (Kalinlik)

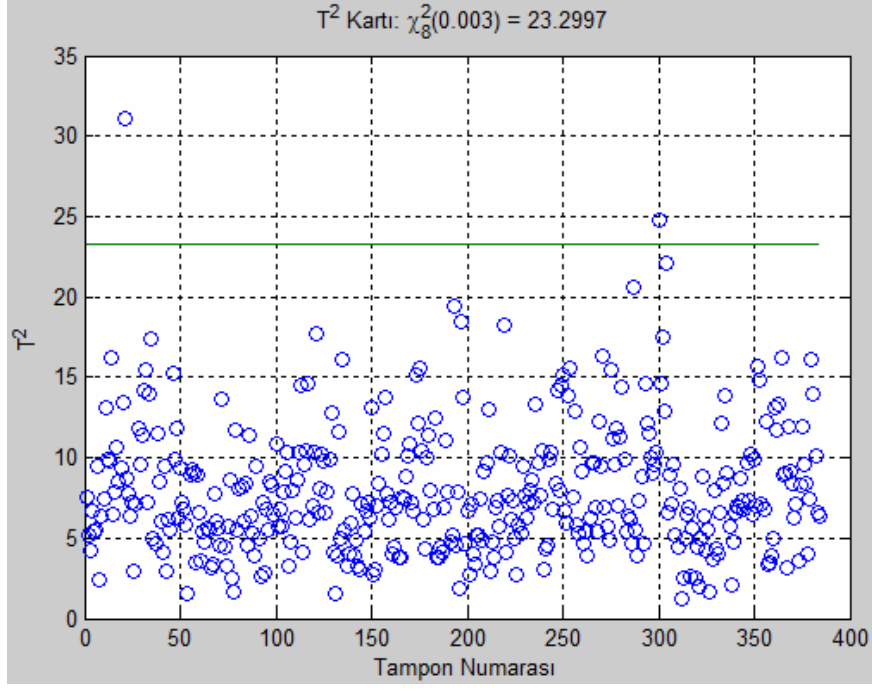
- Patlama Mukavemeti Endeksi (PatlamaEnd)
- Arka Yüzdeki Su Emiciliği (CobbArka)
- Ortalama Uzama (Uzama)



Şekil 5.1 Ortalama kopma endeksi değerleri kontrol kartı (X - Kartı).

Prosesin (bütünsel kağıt kalitesinin) kontrol altında olup olmadığının tespiti için Şekil 5.2’de verilen çok değişkenli kontrol kartı (T^2 - Kartı) ve toplam sekiz adet tek değişkenli kontrol kartı oluşturulmuştur. Tek değişkenli kontrol kartları; 21, 34, 135, 197, 249, 256, 281, 300 ve 304 no’lu tamponlarda, seçilen sekiz özellikten biri veya birkaçı için, prosesin kontrol dışına çıktığını göstermektedir. Ancak T^2 Kartı bu tamponların sadece ikisinde (21 ve 300 no’lu tamponlar) prosesin kontrol dışına çıktığını diğer tamponlarda ise prosesin kontrol altında olduğuna işaret etmektedir. Bu durum, çok değişkenli kontrol kartının korelasyonları dikkate alması neticesinde analizin başarısının arttığı şeklinde yorumlanmıştır.

Tek değişkenli ve çok değişkenli kontrol kartlarına göre prosesin kontrol dışına çıktığı tamponlar ve hesaplanan kontrol limitleri Çizelge 5.1’de verildiği gibidir. Bundan sonraki kısımda, ÇRA vasıtasıyla, temel kalite kriteri (kopma endeksi) ile proses değişkenleri arasındaki ilişkisi araştırılacaktır.



Şekil 5.2 Sekiz adet kağıt kalite kriteri için çok değişkenli kontrol kartı (T^2 - Kartı).

Çizelge 5.1 Tek değişkenli ve çok değişkenli kontrol kartlarına göre prosesin kontrol dışında çıktığı tamponlar.

Kontrol Dışı Tampon No.	KopmaEnd	HavaGec	YırtılmaEnd	Rutubet	Kalınlık	PatlamaEnd	CobbArka	Uzama
21	61.0	13	13.0	6.4	130	6.3	29	9.1
34	59.8	14	14.8	6.8	130	6.5	34	9.0
135	60.1	15	13.5	6.4	130	6.3	30	8.7
197	62.0	16	12.9	6.5	140	6.3	30	8.3
249	62.4	17	13.7	6.6	145	6.2	35	8.6
256	67.3	18	13.0	6.8	130	7.2	36	8.4
281	69.2	18	13.0	6.5	135	6.6	35	8.2
300	69.8	20	13.1	6.3	140	7.3	37	8.3
304	61.9	14	12.7	5.1	135	6.5	32	8.1
Tek Değişkenli ÜKL	68.50	24.24	14.75	7.78	143.52	7.16	38.30	9.96
Tek Değişkenli AKL	55.76	11.50	11.31	5.44	122.71	5.29	30.84	7.57
Tek Değişkenli Durumdaki Kontrol Dışı Durum Sayısı	2	0	1	1	1	2	3	0

5.2 ÇOKLU REGRESYON ANALİZİ VE KORELASYON ANALİZİ

Çoklu Regresyon Analizi'nde gözlem süresince üretilen 384 adet tamponun ölçüm verisinden faydalanılmıştır. Bu aşamada; tüm tamponlar (384 adet), sadece yerli selüloz kullanılarak üretilen tamponlar (277 adet) ve ithal selüloz kullanarak üretilen tamponlar (107 adet) olmak üzere üç farklı veri grubu kullanılmıştır. Korelasyon Analizi'nde ise gruplama yapılmaksızın 384 adet tamponun ölçüm verisi kullanılmıştır.

Analiz sırasında elde edilen korelasyon katsayıları (tüm tamponlar için) Çizelge 5.2'te verilmiştir. Buna göre temel kalite kriteri (kopma endeksi) ile yüksek ilişkiye sahip parametreler büyüklük sırasına göre; Patlama Endeksi (0.58), Nişasta (0.53), Toplam DKR Enerjisi (0.53), Uzama (-0.48), Yırtılma Endeksi (-0.38), Jet/Elek Oranı (0.29) ve Hamur Kasası Kuru Madde Oranı (0.28)'dir. En düşük ilişkiye sahip parametreler ise; Rutubet 2 Değişkenliği (0.01), Kağıt Rutubeti (-0.04), Mesurex Gramaj Değişkenliği (-0.08) ve YKR Enerjisi (0.12)'dir.

Çizelge 5.2 Korelasyon katsayıları.

	KopmaEnd	PatlamaEnd	Nisasta	Enj_DKR	Uzama	YırtılmaEnd	JE_Orani	HK_KM	Sarsinti	CobbArka	HavaGec	MsRt1_2s	Kalinlik	Enj_YKR	MsGr_2s	Rutubet	Ms Rt2_2s
KopmaEnd	1.00	0.58	0.54	0.53	-0.48	-0.38	0.29	0.28	-0.24	0.23	0.17	-0.17	0.13	0.12	-0.08	-0.04	0.01
PatlamaEnd	0.58	1.00	0.36	0.51	-0.38	-0.14	0.12	0.14	-0.30	0.05	0.04	-0.03	0.06	0.27	0.04	-0.03	-0.04
Nisasta	0.54	0.36	1.00	0.30	-0.25	-0.34	0.42	0.45	0.28	0.23	0.05	-0.43	0.36	-0.20	-0.25	0.07	0.00
Enj_DKR	0.53	0.51	0.30	1.00	-0.67	-0.05	0.42	0.35	-0.46	0.13	0.12	-0.01	0.19	0.16	-0.19	-0.07	0.15
Uzama	-0.48	-0.38	-0.25	-0.67	1.00	0.18	-0.28	-0.28	0.27	0.05	0.12	0.20	-0.20	-0.09	0.13	0.21	0.06
YırtılmaEnd	-0.38	-0.14	-0.34	-0.05	0.18	1.00	-0.22	-0.19	-0.09	-0.20	-0.22	0.35	0.01	0.07	0.09	0.06	-0.08
JE_Orani	0.29	0.12	0.42	0.42	-0.28	-0.22	1.00	0.75	-0.19	0.24	0.09	-0.28	0.17	-0.37	-0.53	-0.14	0.28
HK_KM	0.28	0.14	0.45	0.35	-0.28	-0.19	0.75	1.00	-0.18	0.23	0.10	-0.32	0.28	-0.27	-0.44	-0.01	0.09
Sarsinti	-0.24	-0.30	0.28	-0.46	0.27	-0.09	-0.19	-0.18	1.00	-0.05	-0.07	-0.31	0.18	-0.24	0.04	0.08	-0.16
CobbArka	0.23	0.05	0.23	0.13	0.05	-0.20	0.24	0.23	-0.05	1.00	0.07	-0.16	-0.08	-0.16	-0.02	0.13	0.22
HavaGec	0.17	0.04	0.05	0.12	0.12	-0.22	0.09	0.10	-0.07	0.07	1.00	0.02	0.13	0.05	-0.11	0.12	0.13
MsRt1_2s	-0.17	-0.03	-0.43	-0.01	0.20	0.35	-0.28	-0.32	-0.31	-0.16	0.02	1.00	-0.33	0.29	0.16	-0.03	0.12
Kalinlik	0.13	0.06	0.36	0.19	-0.20	0.01	0.17	0.28	0.18	-0.08	0.13	-0.33	1.00	-0.06	-0.15	0.11	-0.13
Enj_YKR	0.12	0.27	-0.20	0.16	-0.09	0.07	-0.37	-0.27	-0.24	-0.16	0.05	0.29	-0.06	1.00	0.29	0.07	-0.11
MsGr_2s	-0.08	0.04	-0.25	-0.19	0.13	0.09	-0.53	-0.44	0.04	-0.02	-0.11	0.16	-0.15	0.29	1.00	0.11	-0.18
Rutubet	-0.04	-0.03	0.07	-0.07	0.21	0.06	-0.14	-0.01	0.08	0.13	0.12	-0.03	0.11	0.07	0.11	1.00	-0.06
Ms Rt2_2s	0.01	-0.04	0.00	0.15	0.06	-0.08	0.28	0.09	-0.16	0.22	0.13	0.12	-0.13	-0.11	-0.18	-0.06	1.00

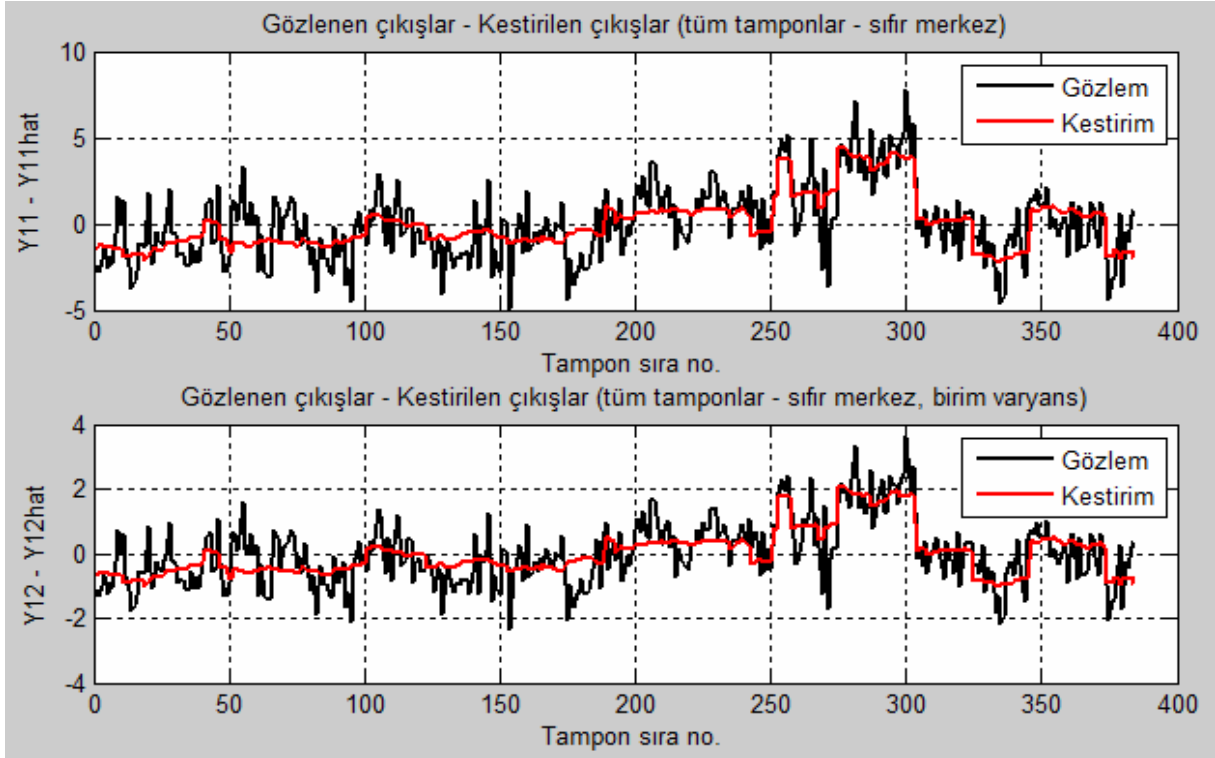
Yapılan analiz sonucunda Çizelge 5.3 ve 5.4’te verilen regresyon katsayıları elde edilmiştir. Bu modele göre; sadece hamur hazırlama ve yaş kısım proses parametrelerinin (altı adet) analiz edilmesi ile elde edilen grafikler Şekli 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’te verildiği gibidir. Proses parametrelerine ilave olarak diğer kağıt özelliklerinin analiz edilmesi durumunda (on altı parametre ile) elde edilen grafikler ise Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de verildiği gibidir.

Çizelge 5.3 Regresyon katsayılarının kıyaslanması (altı parametre).

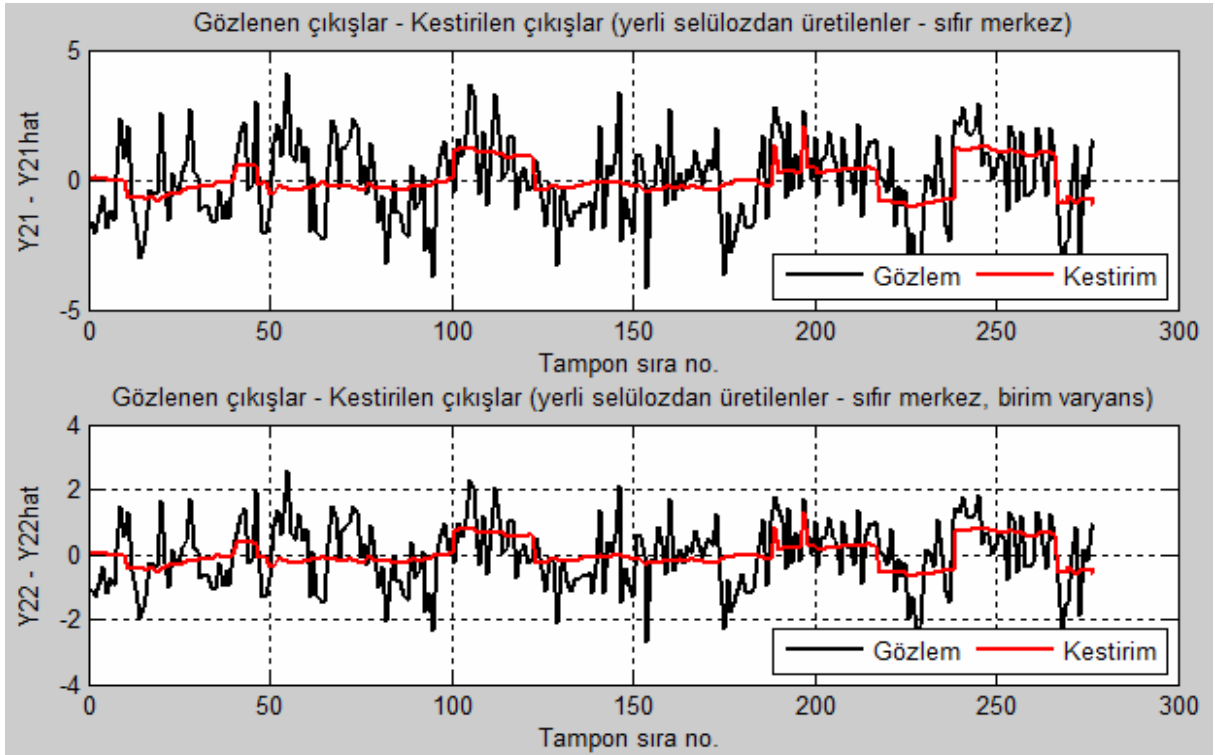
Karşılık Gelen Parametre	Tüm Tamponlar		Yerli Tamponlar		İthal Tamponlar	
	Merkez 0	Merkez 0 Varyans 1	Merkez 0	Merkez 0 Varyans 1	Merkez 0	Merkez 0 Varyans 1
Nisasta	0.35	0.64	0.26	0.57	0.42	0.73
Sarsinti	-0.00	-0.32	-0.03	-0.29	-0.01	-0.09
Enj_DKR	0.02	0.21	0.01	0.10	0.01	0.07
Enj_YKR	0.03	0.11	0.06	0.25	-0.01	-0.04
HK_KM	-14.51	-0.11	-8.50	-0.08	-7.20	-0.04
JE_Orani	-1.33	-0.01	4.03	0.02	-2.87	-0.01

Çizelge 5.4 Regresyon katsayılarının kıyaslanması (on altı parametre).

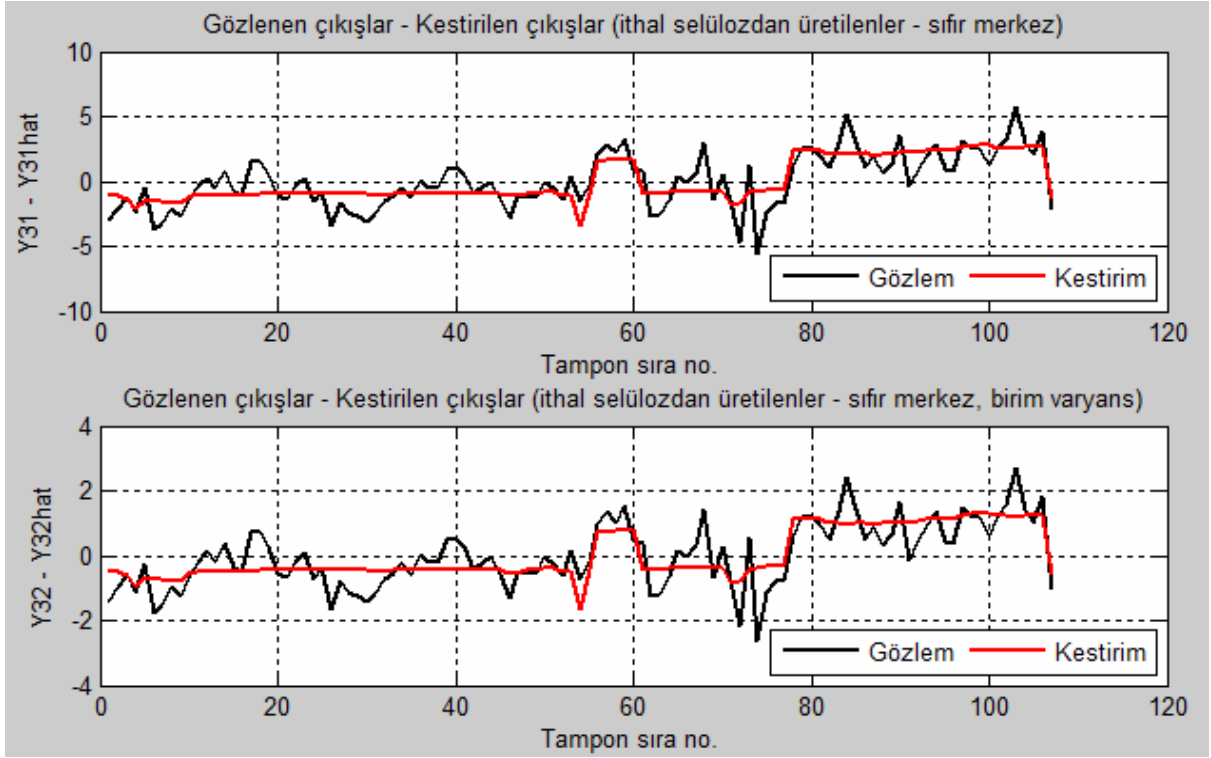
Karşılık Gelen Parametre	Tüm Tamponlar		Yerli Tamponlar		İthal Tamponlar	
	Merkez 0	Merkez 0 Varyans 1	Merkez 0	Merkez 0 Varyans 1	Merkez 0	Merkez 0 Varyans 1
Nisasta	0.25	0.46	0.17	0.36	0.33	0.57
Sarsinti	-0.00	-0.24	-0.00	-0.19	0.01	0.03
PatlamaEnd	1.44	0.21	1.09	0.17	1.25	0.19
Uzama	-1.09	-0.20	-1.06	-0.21	-1.03	-0.10
YirtilmaEnd	-0.61	-0.16	-0.61	-0.23	-1.01	-0.24
HavaGec	0.12	0.12	0.17	0.24	0.02	0.02
CobbArka	0.20	0.11	0.17	0.13	0.19	0.11
HK_KM	-15.31	-0.11	-11.94	-0.11	-19.10	-0.10
Enj_YKR	0.02	0.06	0.03	0.12	-0.00	-0.09
Ms Rt2_2s	-0.20	-0.06	-0.18	-0.07	-0.17	-0.05
MsGr_2s	0.38	0.04	0.39	0.06	0.13	0.01
MsRt1_2s	0.18	0.03	0.28	0.06	0.66	0.08
Enj_DKR	0.00	0.03	-0.00	-0.02	0.00	0.00
JE_Orani	7.89	0.03	17.69	0.10	-8.44	-0.02
Rutubet	-0.13	-0.02	-0.19	-0.05	0.04	0.01
Kalinlik	-0.01	-0.01	-0.02	-0.04	0.01	0.02



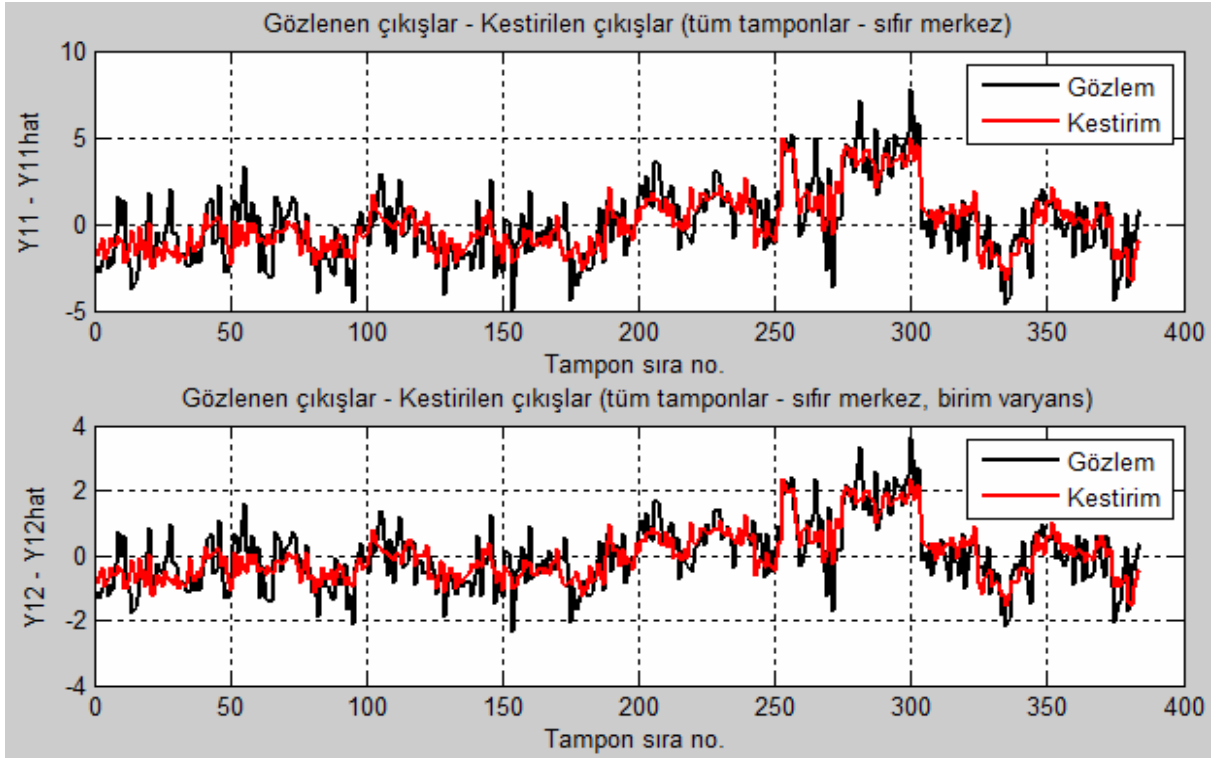
Şekil 5.3 Tüm tamponların analizinden elde edilen kestirim (altı parametre).



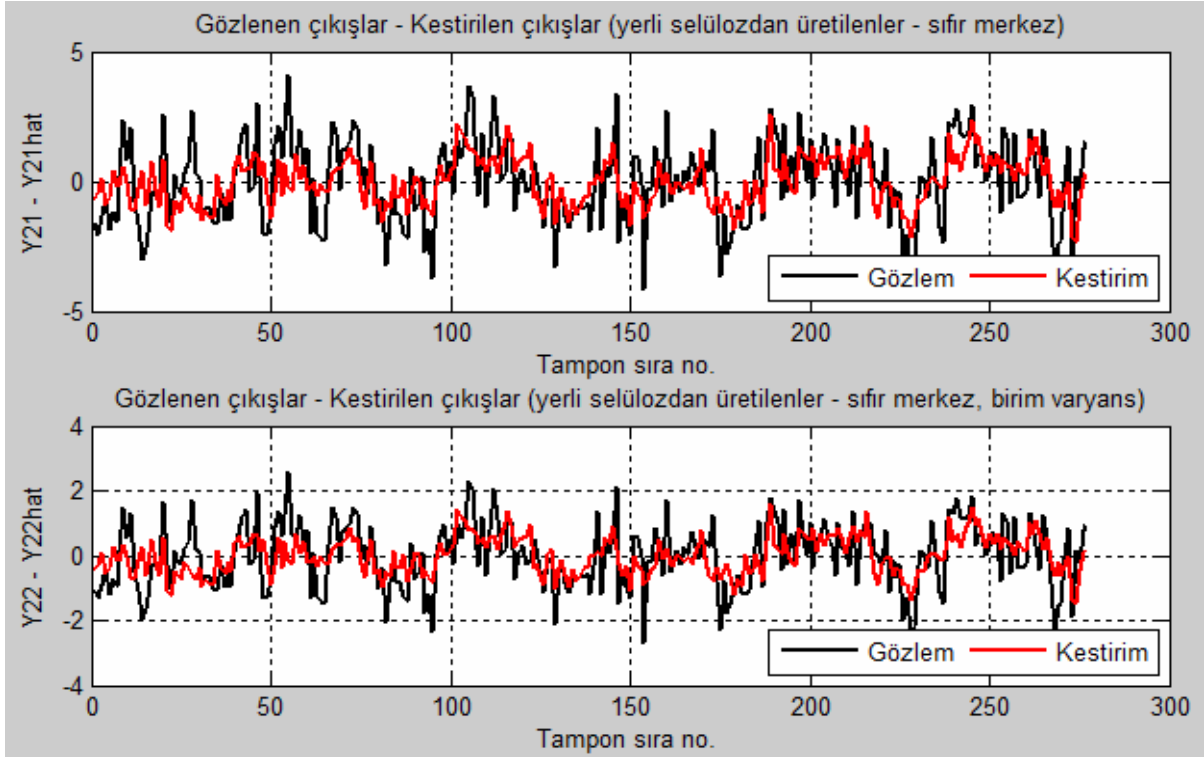
Şekil 5.4 Yerli selülozdan üretilen tamponların analizinden elde edilen kestirim (altı parametre).



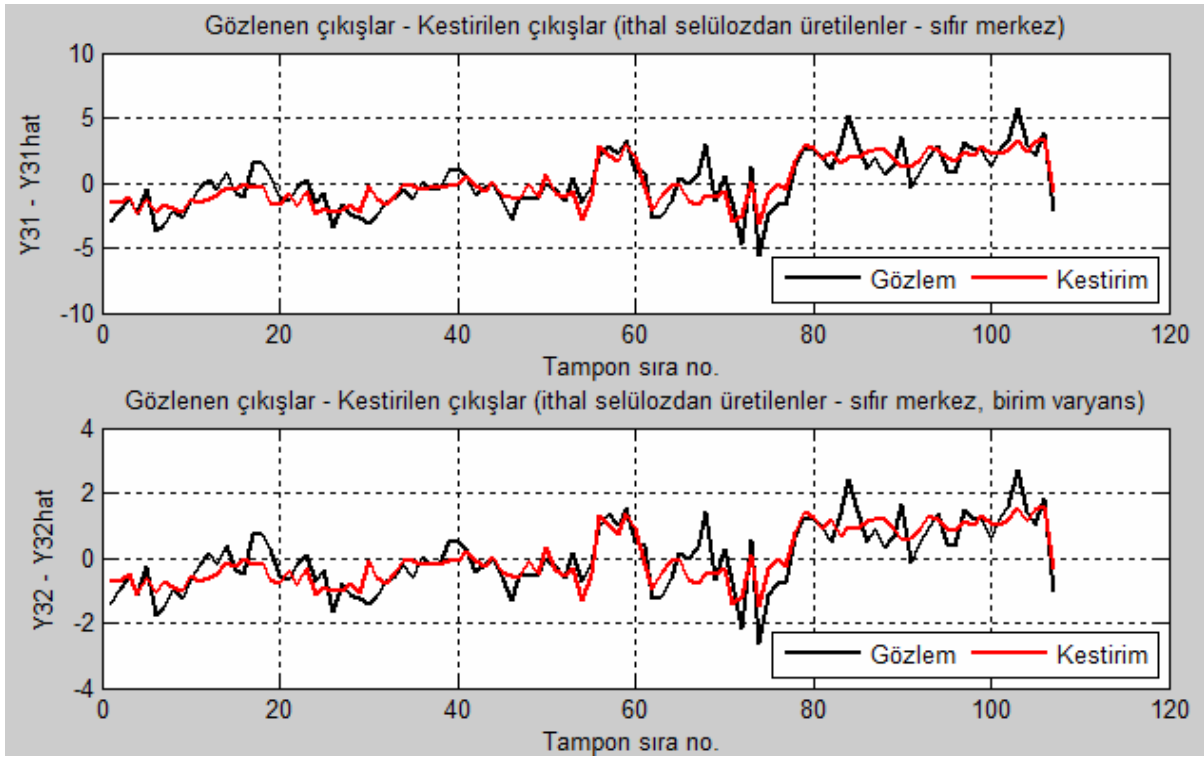
Şekil 5.5 İthal selülozdan üretilen tamponların analizinden elde edilen kestirim (altı parametre).



Şekil 5.6 Tüm tamponların analizinden elde edilen kestirim (on altı parametre).



Şekil 5.7 Yerli selülozdan üretilen tamponların analizinden elde edilen kestirim (on altı parametre).



Şekil 5.8 İthal selülozdan üretilen tamponların analizinden elde edilen kestirim (on altı parametre).

Sadece hamur hazırlama ve yaş kısımdaki altı adet proses parametresinin analiz edilmesi ile sonucunda sıfır merkezli ölçeklendirmede en yüksek katsayılar (tüm tamponlar için); Hamur Kasası Kuru Madde Oranı (-14.51), Jet/Elek Oranı (-1.33) ve Nişasta (0.35) olarak hesaplanmıştır. Yerli ve ithal tamponlarda aynı parametreler sırasıyla (-8.50, 4.03 ve 0.26) ve (-7.20, -2.87 ve 0.42)'dir. Aynı durumda sıfır merkezli birim varyanslı ölçeklendirme için en yüksek katsayılar (tüm tamponlar için); Nişasta (0.64), Sarsıntı Numarası (-0.32) ve Toplam DKR Enerjisi'dir (0.21). Yerli selülozdan üretilen tamponlar için bu sıralama; Nişasta (0.57), Sarsıntı Numarası (-0.29) ve YKR Enerjisi (0.25), ithal selülozdan üretilen tamponlarda; Nişasta (0.73), Sarsıntı Numarası (-0.09) ve Toplam DKR Enerjisi (0.07) şeklindedir (Bkz. Çizelge 5.3).

Proses parametrelerine ilave olarak kopma endeksi haricindeki kağıt özelliklerinin (toplam on altı parametrenin) analize dahil edilmesi neticesinde; sıfır merkezli ölçeklendirmede en yüksek katsayılar (tüm tamponlar için); Hamur Kasası Kuru Madde Oranı (-15.31), Jet/Elek Oranı (7.89), Patlama Endeksi (1.44), Uzama (-1.09) ve Yırtılma Endeksi (-0.61) olarak hesaplanmıştır. Yerli selülozdan üretilen tamponlarda bu sıralama şu şekilde gerçekleşmiştir: Jet/Elek Oranı (17.69), Hamur Kasası Kuru Madde Oranı (-11.94), Uzama (-1.06), Yırtılma Endeksi (-0.61) ve Gramaj Değişkenliği (0.39). İthal selülozdan üretilen tamponlar için öne çıkan katsayılar; Hamur Kasası Kuru Madde Oranı (-19.10), Jet/Elek Oranı (-8.44), Patlama Endeksi (1.25), Uzama (-1.03) ve Yırtılma Endeksi (-1.01) şeklindedir. Sıfır merkezli birim varyanslı ölçeklendirmede en yüksek katsayılar (tüm tamponlar için); Nişasta (0.46), Sarsıntı Numarası (-0.24), Patlama Endeksi (0.21), Uzama (-0.20) ve Yırtılma Endeksi'dir (-0.16). Yerli selülozdan üretilen tamponlarda bu sıralama şu şekilde gerçekleşmiştir: Nişasta (0.36), Hava Geçirgenliği (0.24), Yırtılma Endeksi (-0.23), Uzama (-0.21) ve Sarsıntı Numarası (-0.19). İthal selülozdan üretilen tamponlar için öne çıkan katsayılar; Nişasta (0.57), Yırtılma Endeksi (-0.24), Patlama Endeksi (0.19) ve Cobb Arka Yüz (-0.11) şeklindedir (Bkz. Çizelge 5.4).

Ayrıca tüm tamponlar kullanılarak oluşturulan grafiklerde, on altı parametrelili modelin (kestirimin), gözlem değerlerinin genel seyrini, altı parametrelili modelden daha başarılı şekilde takip edebildiği görülmektedir (Bkz. Şekil 5.3 ve Şekil 5.6).

Regresyon analizi neticesinde ulaşılan “tahminin standart hatası” değerleri izelge 5.5’te mukayese edilmiştir. Ayrıca “determinasyon katsayı (R^2)” 0.63 olarak hesaplanmıştır (tüm tamponlar için ve on altı parametre durumunda).

Çizelge 5.5 Tüm veri grupları ve iki tip ölçeklendirme için tahminin standart hatası.

Veri Grubu <i>Ölçeklendirme Yöntemi</i>	Altı Parametrelili Analizdeki Hata Miktarları	On Altı Parametrelili Analizdeki Hata Miktarları
Tüm tamponlar <i>Sıfır merkezli</i>	1.47	1.29
Tüm tamponlar <i>Sıfır merkezli, birim varyanslı</i>	0.69	0.61
Yerli selülozdan üretilen tamponlar <i>Sıfır merkezli</i>	1.44	1.27
Yerli selülozdan üretilen tamponlar <i>Sıfır merkezli, birim varyanslı</i>	0.91	0.81
İthal selülozdan üretilen tamponlar <i>Sıfır merkezli</i>	1.39	1.21
İthal selülozdan üretilen tamponlar <i>Sıfır merkezli, birim varyanslı</i>	0.65	0.57

5.3 TEMEL BİLEŞEN ANALİZİ

Temel Bileşen Analizi sonucunda, izelge 5.6’da verilen temel bileşen katsayılarına ulaşılmıştır. Buna göre,

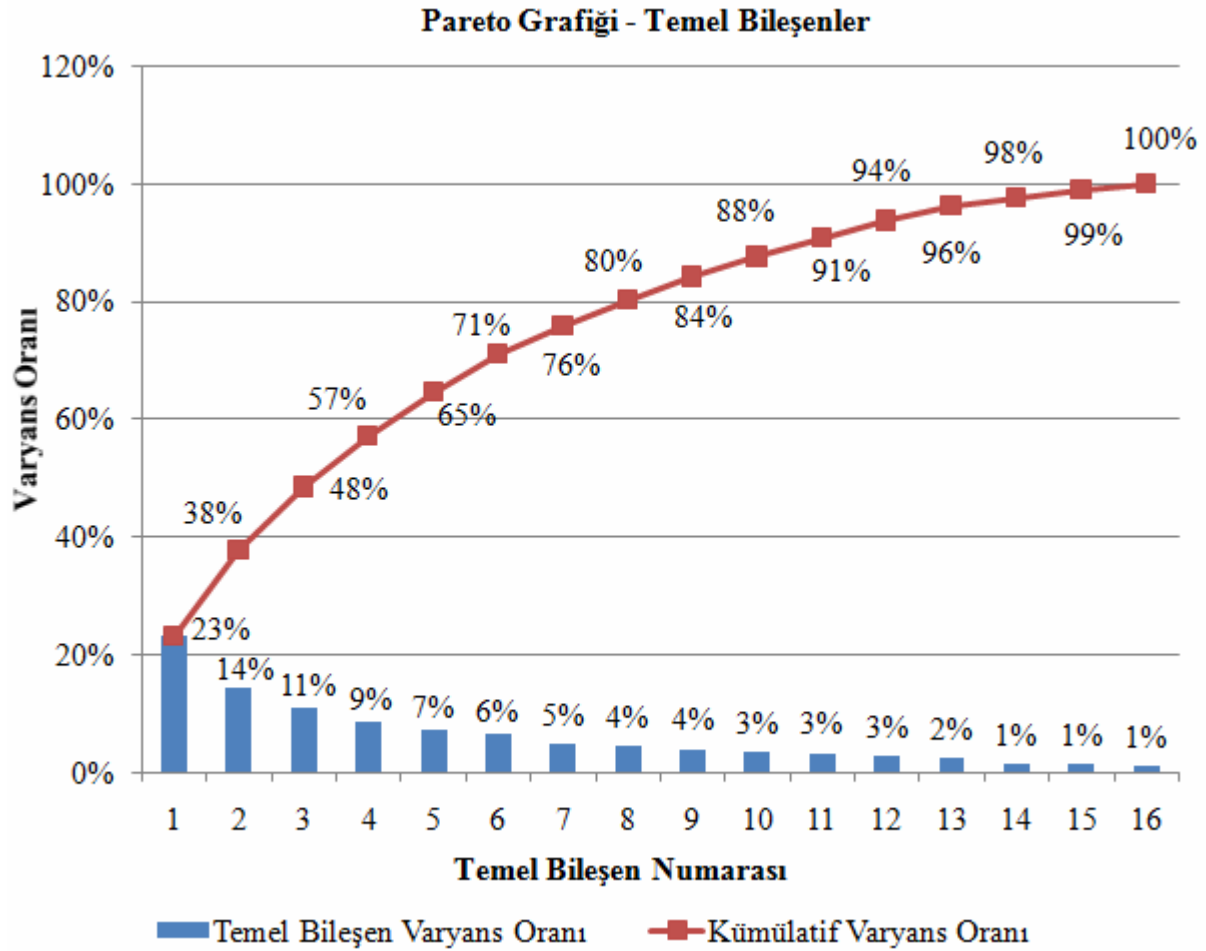
- Birinci temel bileşen toplam değişkenliğin %23.1’ini açıklamaktadır ve en baskın katsayılar; CobbArka Yüz (-0.58), Kağıt Kalınlığı (-0.47), Patlama Endeksi (0.35), Rutubet 1 Değişkenliği (0.30) ve YKR Enerjisi’dir (-0.27).
- İkinci temel bileşen toplam değişkenliğin %14.4’ünü açıklamaktadır ve en baskın katsayılar; Patlama Endeksi (0.46), CobbArka Yüz (0.44), YKR Enerjisi (-0.41), Rutubet 1 Değişkenliği (0.32) ve Kağıt Kalınlığı’dır (0.31).
- Üçüncü temel bileşen toplam değişkenliğin %10.6’sını açıklamaktadır ve en baskın katsayılar; Rutubet 1 Değişkenliği (-0.55), Kağıt Kalınlığı (-0.46), Patlama Endeksi (0.42), CobbArka Yüz (0.42) ve Rutubet 2 Değişkenliği’dir (-0.23).
- Dördüncü temel bileşen toplam değişkenliğin %8.8’ini açıklamaktadır ve en baskın katsayılar; YKR Enerjisi (0.52), Patlama Endeksi (0.49), Gramaj Değişkenliği (-0.41), Kağıt Rutubeti (-0.35) ve Uzama’dır (-0.23).

- Beşinci temel bileşen toplam değişkenliğin %7.5'ini açıklamaktadır ve en baskın katsayılar; Gramaj Değişkenliği (0.44), Sarsıntı Numarası (0.41), Toplam DKR Enerjisi (-0.40), Yırtılma Endeksi (0.36) ve Kağıt Rutubeti'dir (-0.27).
- Altıncı temel bileşen toplam değişkenliğin %6.3'ünü açıklamaktadır ve en baskın katsayılar; Kağıt Kalınlığı (-0.44), CobbArka Yüz (0.44), Nişasta (0.40), Rutubet 1 Değişkenliği (0.34) ve Rutubeti 2 Değişkenliği'dir (0.28).

Çizelge 5.6 Temel bileşenlerin katsayıları.

Temel Bileşen No.	HavaGec	YırtılmaEnd	Rutubet	Kalınlik	PatlamaEnd	CobbArka	Uzama	MsGr_2s	MsRt1_2s	MsRt2_2s	Nisasta	Sarsinti	Enj_YKR	Enj_DKR	JE_Orani	HK_KM
1	0.08	0.00	0.10	-0.47	0.35	-0.58	0.13	-0.08	0.30	-0.23	0.15	0.06	-0.27	-0.04	0.12	-0.13
2	-0.21	0.12	0.09	0.31	0.46	0.44	-0.21	-0.01	0.32	-0.03	0.10	0.26	-0.41	0.01	0.14	-0.15
3	-0.05	-0.11	-0.13	-0.46	0.42	0.42	0.15	0.11	-0.55	-0.23	0.01	-0.04	0.02	-0.08	-0.04	-0.07
4	0.20	-0.13	-0.35	0.08	0.49	-0.06	-0.23	-0.41	0.16	0.18	-0.14	-0.02	0.52	-0.03	-0.07	-0.04
5	0.20	0.36	-0.27	-0.18	-0.14	0.05	-0.19	0.44	0.21	-0.16	-0.19	0.41	0.19	-0.40	-0.04	-0.04
6	0.16	-0.09	0.20	-0.44	-0.26	0.44	0.07	-0.25	0.34	0.28	0.40	0.04	0.15	-0.10	0.03	-0.07
7	-0.29	-0.31	0.23	-0.24	0.16	0.02	-0.04	0.31	0.26	0.20	-0.30	0.18	0.09	0.26	-0.35	0.40
8	-0.28	0.11	-0.26	-0.23	-0.23	0.19	0.02	-0.37	0.27	-0.26	-0.52	-0.31	-0.21	0.03	-0.06	-0.04
9	-0.25	0.32	0.28	-0.02	0.18	0.00	-0.17	0.29	0.16	-0.05	0.13	-0.65	0.33	-0.14	0.04	-0.07
10	0.10	0.04	0.49	-0.20	-0.06	-0.05	-0.65	-0.24	-0.31	0.01	-0.27	0.10	-0.06	-0.07	0.18	0.01
11	0.36	-0.17	-0.27	-0.13	-0.06	0.09	-0.32	0.34	0.11	0.00	0.01	-0.23	-0.11	0.59	0.28	-0.14
12	-0.08	-0.49	-0.27	0.02	-0.08	-0.07	-0.38	0.10	0.02	0.04	0.22	-0.24	-0.31	-0.51	-0.19	0.12
13	-0.15	0.40	-0.24	-0.22	0.07	-0.12	-0.02	0.03	-0.18	0.75	-0.04	-0.04	-0.28	0.01	-0.06	-0.11
14	0.33	0.41	-0.05	-0.02	0.09	0.07	-0.13	-0.16	-0.02	-0.18	0.26	-0.11	-0.17	0.16	-0.39	0.59
15	0.42	-0.05	0.27	0.11	0.05	0.05	0.09	0.08	0.03	0.04	-0.23	-0.15	-0.17	-0.05	-0.60	-0.50
16	0.41	-0.06	0.12	0.07	0.17	0.12	0.31	0.09	0.09	0.20	-0.36	-0.23	-0.16	-0.31	0.42	0.38

Şekil 5.9'deki Pareto grafiğinde görüldüğü üzere %91'lik kümülatif varyans oranına ulaşmak için on bir temel bileşenin dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 5.9 Pareto grafiği - temel bileşenler.

5.4 TARTIŞMA

Tek Değişkenli ve Çok Değişkenli Kontrol Kartlarının, kağıt üretim prosesinin izlenmesinde, son derece etkin araçlar olduğu yapılan örneklerle açık biçimde ortaya konmuştur. Örnekte görüldüğü üzere kontrol dışı durumların oluşmadan önce ya da oluşuktan sonra tespit edilmesi son derece kolaydır. Kontrol kartları tarafından ikaz edilen özel sebeplerin araştırılması ve ortadan kaldırılması sayesinde proses daha etkin biçimde kontrol altında tutulabilir. Ayrıca ithal selüloz kullanımı ile proseste meydana gelen kaymaya benzer, olumlu ya da olumsuz, durumlardan kalite artırma fırsatı olarak yararlanılabilir. Çoklu Regresyon Analizi ve Korelasyon Analizi sayesinde, başlangıçta tahmin edilenin de ötesinde, başarılı neticelere ulaşılmıştır. Temel Bileşen Analizi sonucunda elde edilen temel bileşen katsayıları, baskın parametrelere işaret etmek anlamında, ne literatürle ne de OYKA'daki deneyimle örtüşmemekte ve parametrelerin tamamı, bileşenlerin birinde pozitif ilişki sergilerken

diğerinde negatif ilişki sergilemekte, şiddetleri ise ciddi oranlarda değişkenlik göstermektedir. Ancak bu katsayılardan faydalanarak prosesteki değişkenliğin kaynağına dair fikir edinmek mümkündür. Yani TBA sonuçları baskın parametrelerin meydana çıkarılmasından ziyade değişkenliğin araştırılmasında kullanılmalıdır. Sonuç olarak yapılan önemli tespitler:

- Mevcut verinin niteliği göz önüne alındığında, literatürde önerildiği gibi, ölçeklendirmenin, “sıfır merkezli, birim varyanslı” olacak şekilde yapılması gerekmektedir. Aksi halde regresyon katsayılarını yorumlamak anlamsız hale gelmektedir.
- Analiz aşamasında ürünlerin; yerli, ithal, tümü şeklinde sınıflandırılması pratikte faydası olan bir sonuç üretmemiştir.
- ÇRA’da determinasyon katsayısının 0.63 olarak hesaplanmasından hareketle modelimizin (denkleminizin) gözlem değerlerindeki toplam değişkenliğin % 63’ünü açıklamayı başarabildiğini söyleyebiliriz. Başka uygulamalar için düşük olarak yorumlanabilecek bu oran, entegre selüloz ve kağıt üretiminin detaylarını bilenler açısından, beklenenin üzerindedir. Çünkü entegre kağıt fabrikalarında bitmiş ürünün kalitesini etkilemeye aday çok sayıda parametre vardır. Zaten kısmi korelasyon katsayılarının nispeten düşük çıkması da bu durumu teyit etmektedir.
- ÇRA’da parametre sayısının artırılması kestirimin isabetini artırmıştır.
- Baskın parametrelerin meydana çıkarılmasında ÇRA ve KA literatürle, OYKA’daki deneyimle ve birbirleriyle örtüşen sonuçlar vermiştir. Buna göre,
 - ÇRA’da; Nişasta, Sarsıntı, Patlama, Uzama ve Yırtılma,
 - KA’da; Patlama, Nişasta, DKR, Uzama ve Yırtılma öne çıkmaktadır.
- TBA baskın parametrelerin meydana çıkarılmasından ziyade değişkenliğin azaltılmasında faydalı olabilecek sonuçlar üretmiştir. Buna göre, Patlama, Su Emiciliği, Kalınlık, Rutubet1 ve YKR öne çıkmaktadır.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında; Tek Değişkenli ve Çok Değişkenli Kontrol Kartları, Çoklu Regresyon Analizi, Korelasyon Analizi ve Temel Bileşen Analizi'nden yararlanılmıştır. Bunlar literatürde sıklıkla kullanılan yöntemlerdir. Kontrol kartları sayesinde kağıt üretim prosesinin sürekli izlenmesi ve ölçüm değerlerinin beklenen aralıklarında seyredip seyretmediğinin tespit edilmesi mümkün olmuştur. Çoklu Regresyon Analizi ve Korelasyon Analizi ile kağıt kalitesini etkileyen proses değişkenleri arasından baskın olanlar seçilebilmiştir. Temel Bileşen Analizi sonucunda elde edilen temel bileşen katsayıları, baskın parametrelere işaret etmek anlamında yararlı olmamış ancak bu katsayılardan faydalanarak prosesteki değişkenliğin kaynağına dair fikir edinmek mümkün olmuştur.

Yapılan analizler sonucunda, OYKA'daki kalite artırımı çalışmalarına katkı sağlamak amacıyla, somut öneriler geliştirilmiştir. Bu öneriler aşağıda verildiği gibidir:

- OYKA'nın ürettiği 90 g/m²'lik kağıdın kopma mukavemeti endeksinin artırılması gelecekteki rekabet açısından firma için faydalı olacaktır.
- OYKA'nın ürettiği 90 g/m²'lik kağıdın uzaması rakiplerine kıyasla yüksektir (bu esasen müşteriye avantaj sağlayan ancak firmaya ilave maliyet getiren bir durumdur). Hem MD hem de CD uzama değerlerinin düşürülmesi kopma endeksini ve kağıdın çalışabilirliğini artıracaktır.
- İthal selülozun öğütülmesi esnasında hava geçirgenliği değerleri keskin biçimde artmadığı için DKR'lerde yüksek net spesifik enerji ile çalışılabilmekte ve böylece daha yüksek kopma endeksi elde edilmektedir. Yerli selülozun öğütülmesinde DKR'ler nispeten daha düşük enerji ile çalıştırılabilmektedir. Bunun temel nedeninin bulunması ve ortadan kaldırılması sayesinde, daha yüksek mukavemete sahip kağıt üretmek mümkündür. Bu başarısızlığı taktirde, kopma endeksini artırmak amacıyla, harmana belirli oranda ithal selüloz ekleme uygulamasına süreklilik kazandırılması faydalı olacaktır.

- Nişasta kullanımını belirgin biçimde mukavemet artışı getirmektedir. Bu anlamda 20 kg/ton-kağıt nişasta kullanmak faydalı olacaktır.
- Sarsıntı numarasının negatif korelasyonlu çıkması sektördeki bilgi ile çelişmektedir. Yapılan araştırmada bunun OYKA'nın üretim tercihlerinden, kopma mukavemeti MD/CD oranının düşüklüğünden, kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Bir deneme üretimi yapılarak sarsıntı numarasını (ve dolayısıyla kopma endeksini) artırmak mümkün görünmektedir. Bu olduğu takdirde daha yüksek sarsıntı numaralarına erişmeyi mümkün kılmak üzere yeni teknoloji bir sarsıntı tertibatına yatırım yapılması değerlendirilmelidir.
- OYKA'da YKR öğütümünün kopma endeksini artırdığına inanılmaktadır. Bu durum hem literatürle hem de bu çalışmada elde edilen bulgularla çelişmektedir. YKR net spesifik enerjisinin daha geniş aralıklarda değiştirildiği yeni bir deneme üretimi yapılarak toplam net spesifik enerjinin (ve dolayısıyla kopma endeksinin) optimize edilmesi sağlanmalıdır.
- Bu tip analizlerin daha sağlıklı yapılabilmesi için bilgisayarlı proses izleme sisteminin kurulması yararlı olacaktır.

Analiz sonuçlarının OYKA personeli ile değerlendirilmesi neticesinde, kalite geliştirme çalışmalarında istatistiksel tekniklerinin kullanımının, stratejik yönetsel kararların alınmasında son derece faydalı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu anlamda yeni ve daha geniş kapsamlı analizler yapılması ve analiz faaliyetlerinin fabrikadaki tüm süreçleri kapsamaması büyük önem taşımaktadır.

EK AÇIKLAMALAR A

PROSES PARAMETRE LİSTESİ

HAMUR HAZIRLAMA:

Selüloz kappa numarası
Selüloz pH'ı
Selüloz iletkenliği
Selüloz serbestlik derecesi
Kule seviyesi
Kule kesafeti
Kuleden alınan hamur miktarı
YKR pres torku
YKR pres devri
YKR pres tekne basıncı
YKR pres hat basıncı
YKR pres çıkış kuru madde
YKR pres çıkış hamur serbestlik serrecesi
Hamur sıcaklığı
YKR net spesifik enerji
YKR bıçağı tipi ve kullanım süresi
YKR bıçak vibrasyonu
YKR vibrasyon
YKR bıçak açıklığı
YKR filtrat deposu seviyesi
Kule inceltme deposu seviyesi
Kule seyreltme pompası hat basıncı
Polidisk deposu seviyesi
Polidiskte kek oluşumunun olup olmadığı
Öğütülmemiş büte seviyesi

Öğütülmemiş büte karıştırıcının çektiği akım
DKR giriş kesafeti
DKR'lardan kaç adedinin devrede olduğu
5 adet DKR'da hangi tip bıçakların kullanıldığı
DKR'da bıçakların kullanım süresi
DKR giriş-çıkış basınçları
DKR hamur miktarı
DKR çıkış pH'ı
DKR net spesifik enerji
Öğütülmüş büte seviyesi
Öğütülmüş büte kesafeti
Karışım bütesine verilen eski kağıt hamuru kesafeti
Karışım bütesine verilen eski kağıt hamur miktarı
Karışım bütesine verilen döküntü kesafeti
Karışım bütesine verilen döküntü miktarı
Karışım büte pH'ı
Karışım büte seviyesi
Karışım büte çıkış kesafeti
Makine büte seviyesi
Makine büte çıkış kesafeti

YAŞ KISIM:

Miş pompa devri
113N dikey elek basıncı
113N dikey elek devri
114N dikey elek basıncı
114N dikey elek devri
115N dikey elek basıncı
115N dikey elek devri
Elek altı su sıcaklığı
Elek gerginliği
Elek ve preslerin hız göstergeleri
Jet/elek oranı

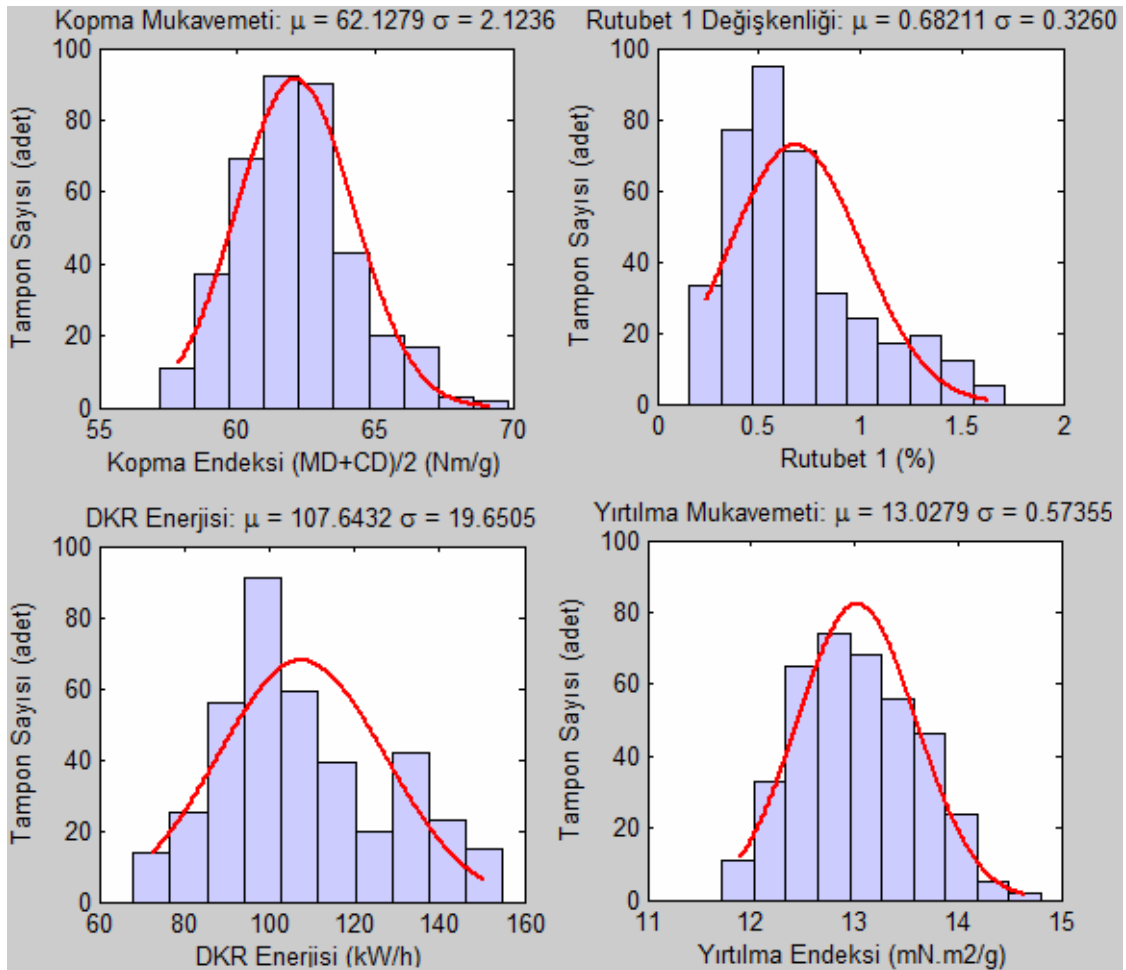
Hamur kasası termatrollerin konumu
Hamur kasası toplam basınç
Hamur kasası kuru madde
Cetvel ağız açıklığı
Sarsıntı devri
Sarsıntı kurs boyu
Yaş ve kuru kasalarının vakum değeri
Elek emici sifon vakum değerleri
Eleğin durumu (temiz/kirli)
Elek tahrik valsinin hızı ve çektiği akım
Elek emici sifon valsinin hızı ve çektiği akım
Devronun konumu (basılı/açık)
Hamur kasası durumu (temiz/kirli)
Göğüs valsi sarsıntı mekanizmasının durumu (çalışıyor/çalışmıyor)
Elek emici sifon çıkışı kuru madde
Manşon valsi baskısı
1. ve 2. pres keçe durumu (temiz/kirli)
Taş valslerin yüzey düzgünlüğü
Raspaların durumları
Düz emicilerin vakum değeri
Küstersin konumu (+/-)
1. ve 2. presin hızları ve amperleri
Elek üzeri su aynasının konumu
Tüm sifonların ve düz emicilerin vakumu
Kademelerde çalışan kliner sayısı
Kademe klinerlerinin giriş ve çıkış basınçları
Su ve hamur pompalarının durumu
Retansiyon maddesi akış miktarı
Retansiyon maddesi konsantrasyonu
Nişasta debisi
Nişasta bomesi
Şap akış miktarı
Şap bomesi
Reçine akış miktarı

Reçine konsantrasyonu
Köpük söndürücü akış miktarı
Köpük söndürücü konsantrasyonu
Boya akış miktarı
Kasyonik tutkal akış miktarı
Drenaj kimyasalı akış miktarı
Hamur kasası serbestlik derecesi
Elek altı kesafeti
Preslerden çıkan hamurun kuru maddesi
Vakum pompalarının debisi
Vakum pompalarının vakum değerleri
Pres içi fıskiyelerin basınçları

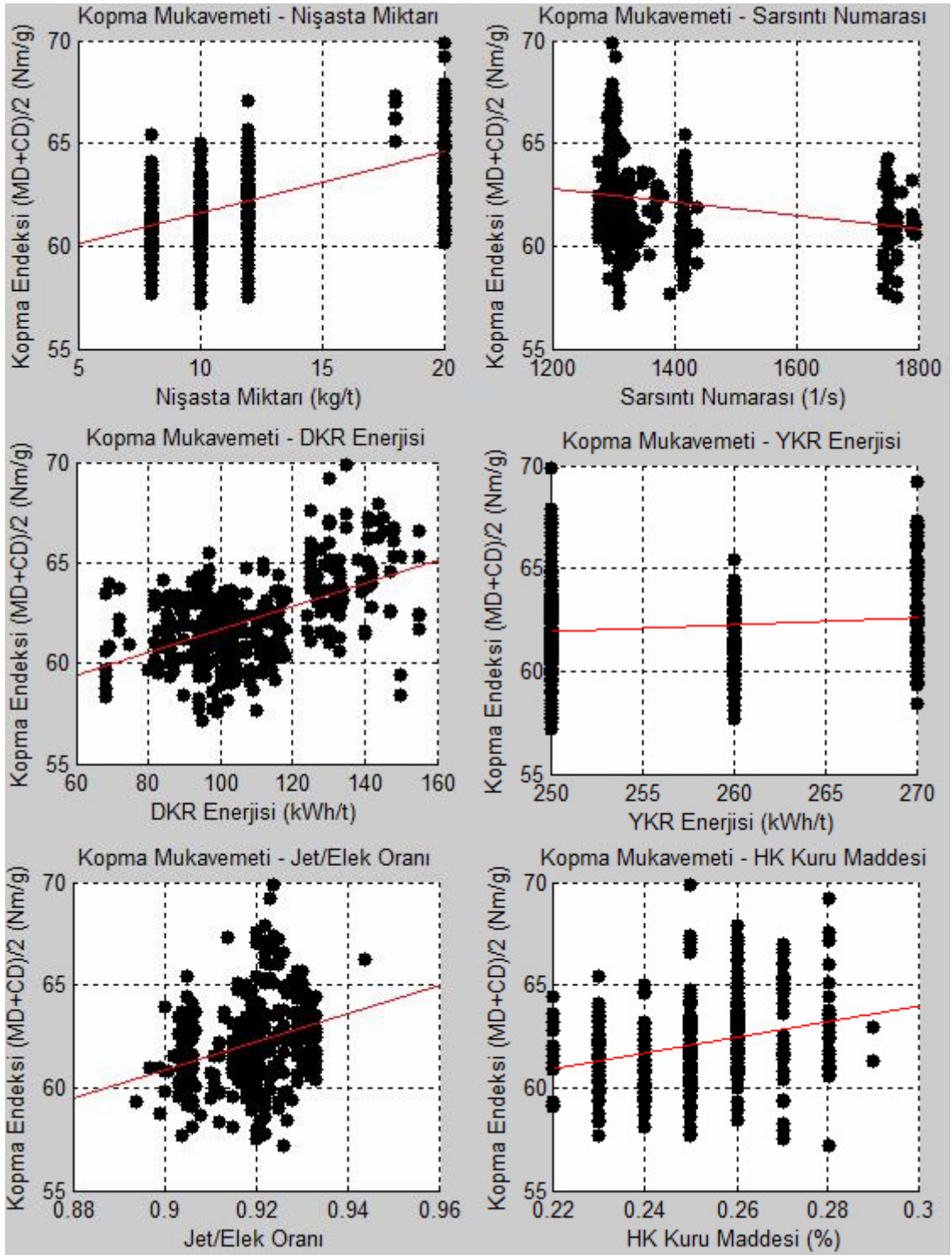
EK AÇIKLAMALAR B

ANALİZ VERİSİNİN DAĞILIM GRAFİKLERİ

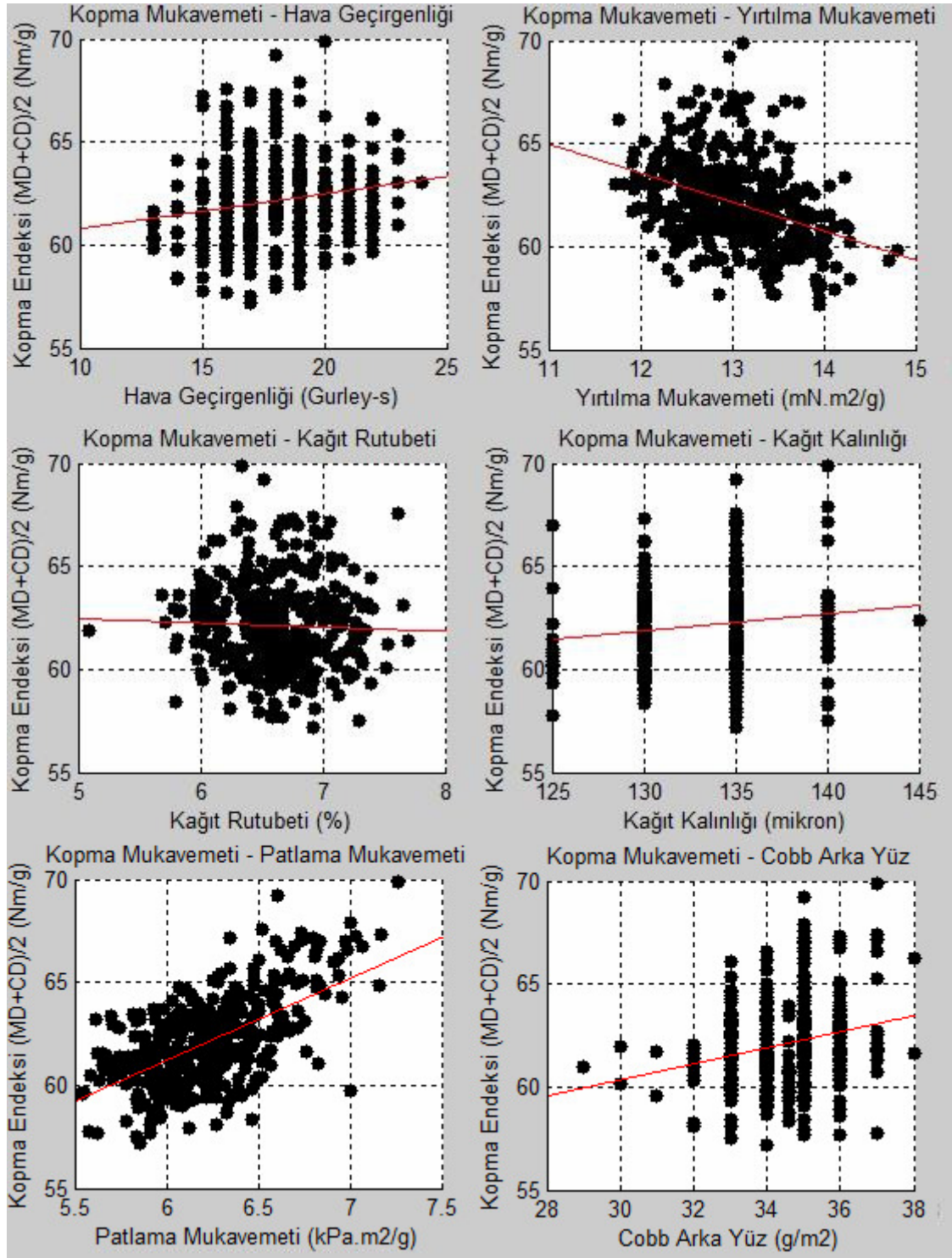
Bu kısımda, seçilen kalite kriterinin ve proses parametrelerinin sergilediği dağılım örnekleri histogram grafikleri şeklinde, proses parametrelerinin kalite kriteri arasındaki ilişki ise serpilme grafikleri şeklinde verilmiştir. Histogram grafiklerinde normal, çift tepeli, merkezden kaçık ve yaygın dağılım örnekleri mevcuttur. Serpilme grafiklerinde ise seçilen her bir parametre ile kalite kriteri arasındaki ilişkinin yönü, şekli ve kuvveti görülmektedir.



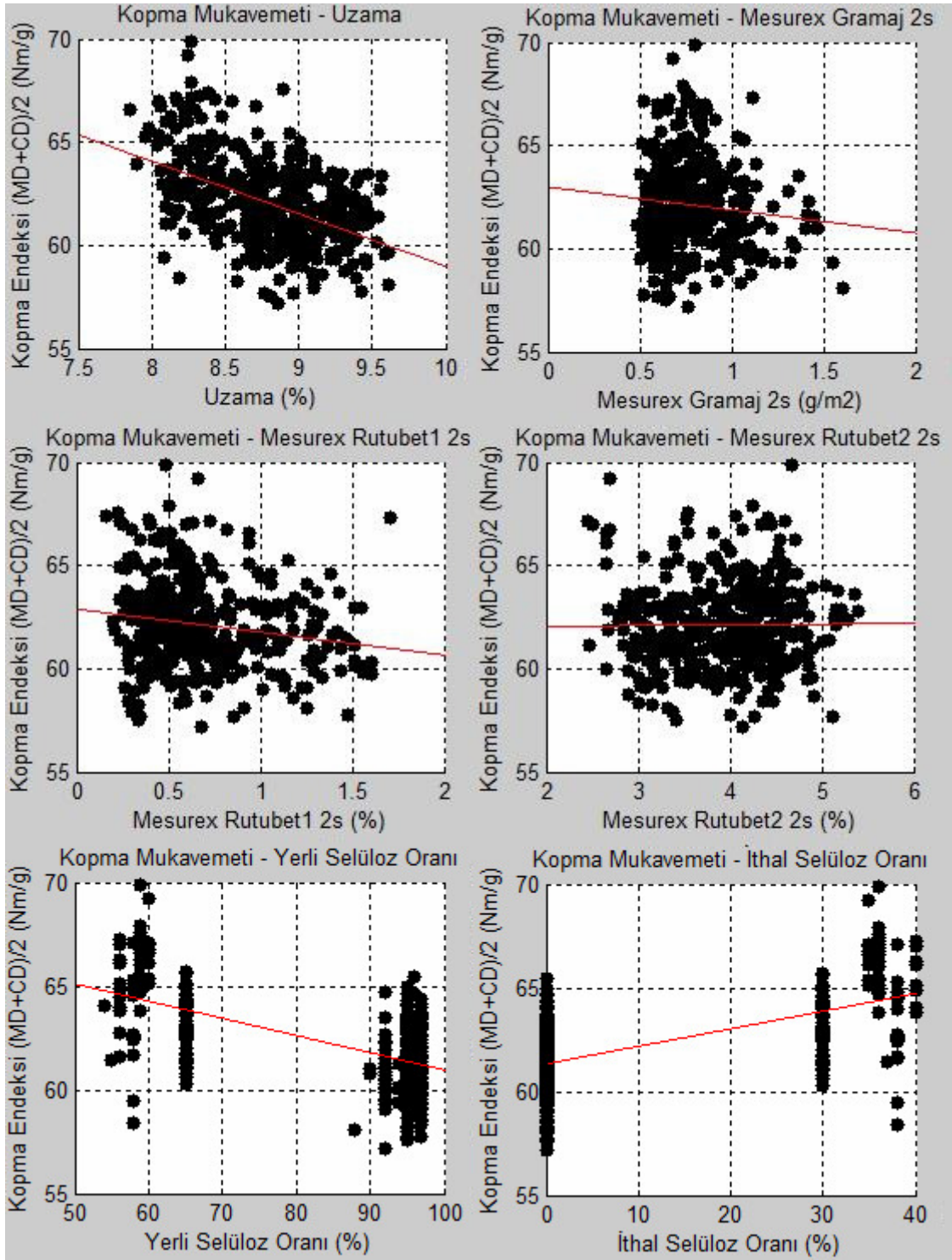
Şekil A.1 Histogram grafik örnekleri (Kopma, Rutubet1, DKR Enerjisi ve Yırtılma Mukavemeti).



Şekil A.2 Serpilme grafikleri (Kopma Mukavemeti'ne karşılık; Nişasta, Sarsıntı, DKR Enerjisi, YKR Enerjisi, Jet/Elek Oranı ve HK Kuru Maddesi).



Şekil A.3 Serpilme grafikleri (Kopma Mukavemeti'ne karşılık; Hava Geçirgenliği, Yırtılma Mukavemeti, Rutubet, Kalınlık, Patlama Mukavemeti ve Cobb Arka).



Şekil A.4 Serpilme grafikleri (Kopma Mukavemeti'ne karşılık; Uzama, Gramaj 2s, Rutubet1 2s, Rutubet2 2s, Yerli Selüloz Oranı ve İthal Selüloz Oranı).

EK AÇIKLAMALAR C

MATLAB PROGRAM PARÇALARI

Kontrol Kartlarının Oluşturulması

Kopma Endeksi için X - Kartı'nın oluşturulması

```
KE = data(:,1);
mu = mean(KE);
sigma = std(KE);
[muhat, sigmahat, mucu, sigmacu] = normfit(KE);
UCL = mu + 3*sigma;
LCL = mu - 3*sigma;
disp(['Kopma Endeksi: ort = ', num2str(mu), ' std = ', num2str(sigma), ''])
disp(['Kopma Endeksi: UCL = ', num2str(UCL), ' LCL = ', num2str(LCL), ''])
figure(1), clf
sample = 1:length(KE);
plot(sample, KE, '-o', sample, mu*ones(size(sample)), sample,
      UCL*ones(size(sample)), sample, LCL*ones(size(sample)), grid
      title(['X - Kartı: \mu = ', num2str(mu), ' \sigma = ', num2str(sigma),
            'UCL = ', num2str(UCL), 'LCL = ', num2str(LCL), '']), xlabel('Tampon
            Numarası'), ylabel('Kopma Endeksi (MD+CD)/2 (Nm/g)')
```

Kopma Endeksi için histogram grafiğinin oluşturulması

```
figure(2), clf
numbins = 50;
hist(KE, numbins)
set(get(gca, 'Children'), 'FaceColor', [.8 .8 1])
hold on
[bincounts, binpositions] = hist(KE, numbins);
binwidth = binpositions(2) - binpositions(1);
histarea = binwidth*sum(bincounts);
x = binpositions(1):0.001:binpositions(end);
y = normpdf(x, muhat, sigmahat);
plot(x, histarea*y, 'r', 'LineWidth', 2) title(['KOPMA ENDEKSİ (MD+CD)/2
      HİSTOGRAM GRAFİĞİ: \mu = ', num2str(mu), ' \sigma =
      ', num2str(sigma), '']), xlabel('Kopma Endeksi (MD+CD)/2
      (Nm/g)'), ylabel('Tampon Sayısı (adet)')
```

Sekiz adet kağıt kalite özelliği için T^2 - Kartı'nın oluşturulması

```
X = data(:,1:8); [m,n] = size(X);
x = mean(X);S=cov(X);
T2=zeros(m,1);
for ii=1:m,T2(ii)=(X(ii,:)-x)*inv(S)*(X(ii,:)-x)';end
sample = 1:m; % chi = chi2inv(1-0.01,n); t2 = tinv((1-0.01)/m,n-1);
chi = chi2inv(.9971,n); t2 = tinv(.009971,n-1);
figure(3),
plot(sample,T2,'o',sample,chi*ones(size(sample))),grid
    title(['T^2 Kartı: \chi_8^2(0.009971) = ',num2str(chi),' ']),
    xlabel('Tampon Numarası'),ylabel('T^2')
disp('Variable is responsible if kth observation is not in between')
disp(['x+t2*sqrt(diag(S))';x-t2*sqrt(diag(S))'])
X(find(T2>chi),:)
```

Çoklu Regresyon Analizi

Verinin elde edilmesi (yerli ve ithal selülozdan üretilen tamponlar)

```
yerli = [1:189,244:251,305:384]; % 277 tampon
ithal = [190:243,252:304]; % 107 tampon
% Tampon adetleri
N1=384; % Tüm tamponlar
N2=277; % Yerli selülozdan üretilen tamponlar
N3=107; % İthal selülzodan üretilen tamponlar
% Tüm tamponlar
Yraw1=data(:,3);
%Xraw1=data(:,25:end); % sadece proses parametreleri
Xraw1=data(:,[4,7:11,14,19:21,25:end]); % proses parametreleri + diğer
kağıt özellikleri
% Yerli selülozdan üretilen tamponlar
Yraw2=data(yerli,3);
%Xraw2=data(yerli,25:end); % sadece proses parametreleri
Xraw2=data(yerli,[4,7:11,14,19:21,25:end]); % proses parametreleri + diğer
kağıt özellikleri
% İthal selülozdan üretilen tamponlar
Yraw3=data(ithal,3);
%Xraw3=data(ithal,25:end); % sadece proses parametreleri
Xraw3=data(ithal,[4,7:11,14,19:21,25:end]); % proses parametreleri + diğer
kağıt özellikleri
```

Verinin ölçeklendirilmesi

```
% Tüm tamponlar - Sıfır merkezli
X11=(Xraw1-kron(mean(Xraw1),ones(N1,1)));
Y11=(Yraw1-kron(mean(Yraw1),ones(N1,1)));
```

```

% Tüm tamponlar - Sıfır merkezli, birim varyanslı
X12=(Xraw1-kron(mean(Xraw1),ones(N1,1)))/kron(std(Xraw1),ones(N1,1));
Y12=(Yraw1-mean(Yraw1))/std(Yraw1);
% Yerli selülozdan üretilen tamponlar - Sıfır merkezli
X21=(Xraw2-kron(mean(Xraw2),ones(N2,1)));
Y21=(Yraw2-kron(mean(Yraw2),ones(N2,1)));
% Yerli selülozdan üretilen tamponlar - Sıfır merkezli, birim varyanslı
X22=(Xraw2-kron(mean(Xraw2),ones(N2,1)))/kron(std(Xraw2),ones(N2,1));
Y22=(Yraw2-mean(Yraw2))/std(Yraw2);
% İthal selülozdan üretilen tamponlar - Sıfır merkezli
X31=(Xraw3-kron(mean(Xraw3),ones(N3,1)));
Y31=(Yraw3-kron(mean(Yraw3),ones(N3,1)));
% İthal selülozdan üretilen tamponlar - Sıfır merkezli, birim varyanslı
X32=(Xraw3-kron(mean(Xraw3),ones(N3,1)))/kron(std(Xraw3),ones(N3,1));
Y32=(Yraw3-mean(Yraw3))/std(Yraw3);

```

Regresyon analizi

```

% Tüm tamponlar - Sıfır merkezli
Beta11=inv(X11'*X11)*(X11'*Y11);
Y11hat=X11*Beta11;
e11=Y11-Y11hat;
Error11=sqrt((e11'*e11)/N1); % Tahminin standart hatası
disp(['Tahminin Standart Hatası, Error11 = ',num2str(Error11)]);
% Tüm tamponlar - Sıfır merkezli, birim varyanslı
Beta12=inv(X12'*X12)*(X12'*Y12);
Y12hat=X12*Beta12;
e12=Y12-Y12hat;
Error12=sqrt((e12'*e12)/N1);
disp(['Tahminin Standart Hatası, Error12 = ',num2str(Error12)]);

% Yerli selülozdan üretilen tamponlar - Sıfır merkezli
Beta21=inv(X21'*X21)*(X21'*Y21);
Y21hat=X21*Beta21;
e21=Y21-Y21hat;
Error21=sqrt((e21'*e21)/N2); % Tahminin standart hatası
disp(['Tahminin Standart Hatası, Error21 = ',num2str(Error21)]);
% Yerli selülozdan üretilen tamponlar - Sıfır merkezli, birim varyanslı
Beta22=inv(X22'*X22)*(X22'*Y22);
Y22hat=X22*Beta22;
e22=Y22-Y22hat;
Error22=sqrt((e22'*e22)/N2);
disp(['Tahminin Standart Hatası, Error22 = ',num2str(Error22)]);

% İthal selülozdan üretilen tamponlar - Sıfır merkezli
Beta31=inv(X31'*X31)*(X31'*Y31);
Y31hat=X31*Beta31;
e31=Y31-Y31hat;

```

```

Error31=sqrt((e31'*e31)/N3); % Tahminin standart hatası
disp(['Tahminin Standart Hatası, Error31 = ',num2str(Error31)]);
% İthal selülozdan üretilen tamponlar - Sıfır merkezli, birim varyanslı
Beta32=inv(X32'*X32)*(X32'*Y32);
Y32hat=X32*Beta32;
e32=Y32-Y32hat;
Error32=sqrt((e32'*e32)/N3);
disp(['Tahminin Standart Hatası, Error32 = ',num2str(Error32)]);

```

Sonuçların çizdirilmesi

```

figure(1)
t1 = 1:N1;
subplot(2,1,1);plot(t1,Y11,'k',t1,Y11hat,'r','LineWidth',2);
    grid on;legend('Gözlem','Kestirim');
    xlabel('Tampon sıra no. ');ylabel('Y11 - Y11hat');
    title('Gözlenen çıkışlar - Kestirilen çıkışlar (tüm tamponlar - sıfır
        merkez)');
subplot(2,1,2);plot(t1,Y12,'k',t1,Y12hat,'r','LineWidth',2);
    grid on;legend('Gözlem','Kestirim');
    xlabel('Tampon sıra no. ');ylabel('Y12 - Y12hat');
    title('Gözlenen çıkışlar - Kestirilen çıkışlar (tüm tamponlar - sıfır
        merkez, birim varyans)');

```

```

figure(2)
t2 = 1:N2;
subplot(2,1,1);plot(t2,Y21,'k',t2,Y21hat,'r','LineWidth',2);grid on;
    legend('Gözlem','Kestirim','Orientation','horizontal','Location',
        'SouthEast');
    xlabel('Tampon sıra no. ');ylabel('Y21 - Y21hat');
    title('Gözlenen çıkışlar - Kestirilen çıkışlar (yerli selülozdan
        üretilenler - sıfır merkez)');
subplot(2,1,2);plot(t2,Y22,'k',t2,Y22hat,'r','LineWidth',2);grid on;
    legend('Gözlem','Kestirim','Orientation','horizontal','Location',
        'SouthEast');
    xlabel('Tampon sıra no. ');ylabel('Y22 - Y22hat');
    title('Gözlenen çıkışlar - Kestirilen çıkışlar (yerli selülozdan
        üretilenler - sıfır merkez, birim varyans)');

```

```

figure(3)
t3 = 1:N3;
subplot(2,1,1);plot(t3,Y31,'k',t3,Y31hat,'r','LineWidth',2);grid on;
    legend('Gözlem','Kestirim','Orientation','horizontal','Location',
        'SouthEast');
    xlabel('Tampon sıra no. ');ylabel('Y31 - Y31hat');
title('Gözlenen çıkışlar - Kestirilen çıkışlar (ithal selülozdan
    üretilenler - sıfır merkez)');
subplot(2,1,2);plot(t3,Y32,'k',t3,Y32hat,'r','LineWidth',2);grid on;
    legend('Gözlem','Kestirim','Orientation','horizontal','Location',
        'SouthEast');

```

```
xlabel('Tampon sıra no.');"ylabel('Y32 - Y32hat');  
title('Gözlenen çıkışlar - Kestirilen çıkışlar (ithal selülozdan  
üretilenler - sıfır merkez, birim varyans)');
```

Korelasyon Analizi

```
% Korelasyon matrisi  
R=( [Y12, X12]' * [Y12, X12] ) / (N1-1);  
  
% Determinasyon katsayısı  
X122=[ones(size(data,1),1) X12];  
[b,bint,r,rint,stats]=regress(Y12,X122);  
stats;
```

Temel Bileşen Analizi

```
[pcs, newdata, variances, t2]=princomp(X12);  
%SUCCESS = XLSWRITE('d:\ulvi\pca_matrisi.xls',pcs);
```


KAYNAKLAR

- AssiDoman** (1999) *Kraft Paper and Method for Making the Same*. Patent document. International Publication Number: WO 99/02772. 22 pages.
- Büyüköztürk Ş** (1998) Kovaryans Analizi: Varyans Analizi ile Karşılaştırmalı Bir İnceleme. Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi, Cilt: 31 Sayı: 1, Sayfa: 91 – 105.
- Carlson W E** (1981) Improving the Performance of Shipping Sack Papers. Tappi Journal, Volume: 64, No: 8, pp. 85 – 87.
- Cutshall K** (1990) The Nature of Paper Variation. Tappi Journal, Volume: 73, No: 6, pp. 81 – 90.
- Çil B** (2000) *İstatistik*. 2. baskı, Detay Yayıncılık, Ankara, 369 sayfa.
- Hagemeyer R W, Manson D W** (1992) *Pulp and Paper Manufacture Volume 6: Stock Preparation*. 3rd edition, Joint Textbook Committee of the Paper Industry, Tappi and CPPA, Canada, 316 pages.
- Henriksson C, Ho T** (1993) Improving Product Quality in a Pulp Mill Using Statistical Process Control (SPC). IEEE Canadian Conference, Volume: 2, pp. 953 – 957.
- ISO 536** (1995) Paper and Board - Determination of Grammage. 2nd edition. 4 pages.
- ISO 1924-3** (2005) Paper and Board - Determination of Tensile Properties. Part 3: Constant Rate of Elongation Method (100 mm/min). 10 pages.
- ISO 1974** (1990) Paper - Determination of Tearing Resistance (Elmendorf Method). 3rd edition. 8 pages.
- ISO 2758** (2001) Paper - Determination of Bursting Strength. 3rd edition. 11 pages.
- ISO 5636-5** (2003) Paper and Board - Determination of Air Permeance and Air Resistance (Medium Range). Part 5: Gurley Method. 2nd edition. 8 pages.
- Jaehn A** (1989) *Focus on Quality*. Tappi, the United States of America, 82 pages.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Janssen P M A** (2007) Process Control and Process Adjustment for a Paper Factory. Master's Thesis, Technische Universiteit Eindhoven, Department of Mathematics and Computer Science, Eindhoven Germany, 95 pages.
- Johnson R A, Wichern D W** (1998) *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 4th edition, Prentice-Hall, the United States of America, 816 pages.
- Kaliebe E** (1996) Developing Improved Sack Paper Qualities Cooperation Between Paper Converter and Producer. Inv. Tec. Papel num. 128, Germany, pp. 397 – 400.
- Kerr C S** (1996) Manufacture of Multiwall Sack Papers. 82nd Annual Meeting of the Technical Section, CPPA, Montreal, Volume 98, No: 5, pp. 45 – 48.
- Korsnas** (1988) *Manufacturing of Kraft Paper*. Patent document. Patent Number: 4,741,376. 4 pages.
- Köksal B A** (2003) *İstatistik Analiz Metodları*. 6. baskı, Çağlayan Basımevi, İstanbul, 554 sayfa.
- Leiviska K** (1999) *Papermaking Science and Technology, Book 14: Process Control*. Finnish Paper Engineers' Association and Tappi, Finland, 297 pages.
- Mamzic C L, Tucker T W** (1988) Incorporating Statistical Process Control within a Distributed Control System. ISA Transactions, Volume: 30, Issue: 1, pp. 59 – 64.
- Martin E B, Morris A J, Zhang J** (1996) Process Performance Monitoring Using Multivariate Statistical Process Control. Control Theory and Applications, IEE Proceedings, Volume: 143, Issue: 2, pp. 132 – 144.
- McKee R C, Whitsitt W J** (1963) Study of the Relationships Between Multiwall Sack Performance and the Properties of the Sack Paper. 14th testing Conference of the Technical Association of the Pulp and Paper Industry, New Orleans, La., pp. 69 – 95.
- Murray R S, Stephens L J** (1998) *Schaum's Outline of Statistics*. 3rd edition, McGraw-Hill, the United States of America, 512 pages.
- Oakland J S** (2008) *Statistical Process Control*. 6th edition, Butterworth-Heinemann, Great Britain, 458 pages.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Ordenez M L R** (2008) Multivariate Statistical Process Control and Case-Based Reasoning for Situation Assessment of Sequencing Barth Reactors. Doctoral Thesis, Universitat De Girona, Departament D'Enginyeria Electrica, Electronica I Automatica, Girona Spain, 141 pages.
- Özcan S** (2001) İstatistiksel Proses Kontrol Tekniklerinden Pareto Analizi ve Çimento Sanayiinde Bir Uygulama. C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt 2, Sayı 2, Sayfa: 151 – 174.
- Paulapuro H D** (2008) *Papermaking Science and Technology Book 8: Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End.* 2nd edition, Gumerus Oy, Finland, 516 pages.
- Smook G A** (1988) *Handbook for Pulp and Paper Technologists.* 5th printing, Joint Textbook Committee of the Paper Industry, Tappi and CPPA, Canada, 395 pages.
- The MathWorks** (1999) User's Guide: Statistics Toolbox for Use with Matlab. 420 pages.
- Thorp B A, Kocurek M J** (1991) *Pulp and Paper Manufacture Volume 7: Paper Machine Operations.* 3rd edition, Joint Textbook Committee of the Paper Industry, Tappi and CPPA, Canada, 693 pages.
- TS ISO 11462** (2003) İstatistiksel Proses Kontrolü (İPK) Uygulaması İçin Ana Esaslar - Bölüm 1: İPK Öğeleri. 21 sayfa.
- Yaycılı A Ö** (2006) Temel Bileşenler Analizi için Robust Algoritmaları. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 56 sayfa.

ÖZGEÇMİŞ

1969'da Zonguldak'ta doğdu. Liseyi Zonguldak Mehmet Çelikel Lisesi'nde tamamladı. 1993 yılında Hacettepe Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden Elektronik Mühendisi unvanıyla mezun oldu. Çeşitli sanayi kuruluşlarında bakım, üretim, kalite ve ar-ge konularında çalıştı. İş hayatını Oyka Kağıt Ambalaj San. ve Tic. A.Ş.'de Kalite Sistem Müdürü olarak sürdürmekte olup evli ve iki çocuk sahibidir.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: Oyka Kağıt Ambalaj San. ve Tic. A.Ş.
Perşembe Yolu üzeri
67900 Çaycuma / Zonguldak

Tel: 0 372 6151182 (Dahili: 1414)

E-posta: ulvi.beytekin@oyka.com.tr

Ulvi BEYTEKİN