

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CAM AMBALAJ ÜRETİMİNDE KALİTE VE VERİMLİLİK
ARTIRMA ÇALIŞMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Metalurji Müh. Fatih İBRAHİMOĞLU**

Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Programı : SERAMİK

MAYIS 2002

**CAM AMBALAJ ÜRETİMİNDE KALİTE VE VERİMLİLİK
ARTIRMA ÇALIŞMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Metalurji Müh. Fatih İBRAHİMOĞLU
(506991068)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Mayıs 2002**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Serdar ÖZGEN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Yılmaz TAPTIK
Yrd. Doç. Dr. Suat YILMAZ (İ. Ü.)**

MAYIS 2002

**CAM AMBALAJ ÜRETİMİNDE KALİTE VE VERİMLİLİK
ARTIRMA ÇALIŞMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji Müh. Fatih İBRAHİMOĞLU

(506991068)

Ana Bilim Dalı : Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Programı : Seramik

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Serdar ÖZGEN

Mayıs 2002

ÖNSÖZ

Günümüz rekabet koşullarında, firmaların pazarda pay sahibi olabilmeleri için sadece ürün kalitelerini geliştirmeleri yeterli olmamakta, en yüksek kalite ürünü en düşük maliyetle üretebilen firmalar pazarda pay sahibi olabilmektedirler. Ürün kalitesini artırırken maliyetleri minimum seviyede tutmak, ürünün kalite kontrolünün yanı sıra üretildiği prosesinde kontrolünün yapılmasıyla mümkün olmaktadır. Proses kontrolünün üretimde kalite ve verimlik artışına sağladığı katkıları tespit edebilmek amacıyla, Şişe Cam, Anadolu Cam Sanayi Tic. A.Ş., Topkapı fabrikasında, üretim takip sistemi ve istatistiksel proses kontrol (İPK) gibi endüstride yaygın kullanım alanına sahip proses kontrol yöntemlerinin uygulamasına yönelik olarak yapmış olduğumuz pilot çalışma bu tez kapsamında ele alınmıştır.

Her zaman önce kalite diyerek çalışmalarını sürdüren ve yapmış olduğu geliştirme çalışmalarında üniversiteyle sıkı ilişkiler içinde olan Anadolu Cam Sanayi'ne ve Şişe Cam ailesine tez çalışmamdaki katkılarından ötürü teşekkür ederim. Ayrıca Tez çalışmamın her aşamasında yardımlarını ve fikirlerini esirgemeyen Anadolu Cam Sanayi, Topkapı Fabrikası Kalite Müdürü, Sn. Ateşhan ÖRS'e, Soğutma Sonu İşlemleri Şefi, Sn Mustafa TOKAT'a, Ölçü Kontrol ve Bakım Mühendisi, Sn. Serdar DEĞEROĞLU'na ve Topkapı fabrikası çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Son olarak, tez çalışmam esnasında bana fikirleriyle yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Serdar ÖZGEN'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Mayıs 2002

Fatih İBRAHİMOĞLU

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. – GİRİŞ	1
2. – CAM AMBALAJIN TARİHÇESİ	4
3. – CAM AMBALAJIN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ İLE UYGULAMALARI	7
3.1 – Fiziksel Özellikler	7
3.2 – Kimyasal Özellikler	12
3.3 – Cam Ambalajın Türleri ve Uygulama Alanları	13
4. – CAM AMBALAJ ÜRETİM SÜRECİ	16
4.1 – Genel	16
4.2 – Damla Oluşumu	20
4.3 – Camın Şekillendirilmesi	23
4.3.1 – Şekillendirme Kalıpları	23
4.3.2 – Cam Ambalaj Şekillendirme Makineleri (I.S. Makineleri)	26
4.3.3 – Cam Ambalaj Şekillendirme Prosesleri	28
4.3.3.1 – Üfleme – Üfleme Prosesi	28
4.3.3.2 – Pres – Üfleme Prosesi	30
4.3.3.3 – Dar Boyunlu Ürünler için Pres – Üfleme Prosesi (NNPB)	31
4.4 – Tavlama Prosesi	32
4.5 – Yüzey Kaplama İşlemleri	35
4.6 – Kalite Kontrol Prosesi	37
4.6.1 – Cam Ambalajda Görülen Hata Türleri	37
4.6.1.1 – Kritik Hatalar	37
4.6.1.2 – Fonksiyonel Hatalar	38
4.6.1.3 – Görünüm Hataları	41
4.6.2 – Cam Ambalaj Kalite Kontrol Sistemleri	42
4.6.2.1 – Hat Üstü Görsel Kalite Kontrol	42
4.6.2.2 – Hat Üstü Otomatik Kalite Kontrol	43
4.6.2.3 – Laboratuarda Kalite Kontrol	50
4.7 – Ambalajlama	51

5. – ÜRETİM TAKİP SİSTEMİ	54
6. – İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL (İPK)	57
6.1 – Genel	57
6.2 – İPK Yöntemleri	59
6.2.1 – Çetele Diyagramı	59
6.2.2 – Histogram	59
6.2.3 – Pareto Analizi	59
6.2.4 – Sebep Sonuç Diyagramı (Kılçık Diyagramı)	60
6.2.5 – Sınıflandırma (Tabakalama)	60
6.2.6 – Serpilme (Dağılma) Diyagramı	60
6.2.7 – Kontrol Diyagramı	60
6.2.7.1 – Ölçülebilen Karakteristikler için Kontrol Çizelgeleri	62
6.2.7.2 – Ölçülemeyen Karakteristikler için Kontrol Çizelgeleri	64
6.3 – İstatistiksel Proses Kontrolün Uygulama Aşamaları	67
7 – ŞİŞECAM ANADOLU CAM SANAYİ A.Ş. TOPKAPI FABRİKASINDA SAHA UYGULAMASI	70
7.1 – Türkiye’de Cam Ambalaj Üretimi	70
7.2 – Topkapı Şişe Fabrikası A – 3 Üretim Hattı Profili	71
7.3 – İstatistiksel Proses Kontrol’ ün A – 3 Hattındaki Uygulaması	74
7.3.1 – Ölçülebilen Karakteristik için Kontrol Çizelgesi Oluşturulması	74
7.3.2 – Ölçülemeyen Karakteristikler için Kontrol Çizelgesi Oluşturulması	88
7.4 – Üretim Takip Sistemi Verileri ile A – 3 Hattında İPK Uygulaması	100
8. – GENEL DEĞERLENDİRME	107
KAYNAKLAR	109
ÖZGEÇMİŞ	112

KISALTMALAR

NNPB	: Narrow Neck Press Blow
İPK	: İstatistiksel Proses Kontrol
ÜKL	: Üst Kontrol Limiti
AKL	: Alt Kontrol Limiti
ÜSL	: Üst Spesifikasyon Limiti
ASL	: Alt Spesifikasyon Limiti

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1: 2000 yılı Türkiye Ambalaj Sektörü Üretim Değerleri Tablosu	2
Tablo 4.1: Cam Ambalaj Kalite Kontrol Kriterleri	43
Tablo 6.1: A_2 , D_4 , D_3 ve d_2 sabit değer tablosu	63
Tablo 7.1: Servo feeder öncesi arka kalıp için şişe ağırlığı ölçüm sonuçları (gr.)	76
Tablo 7.2: Servo feeder öncesi ön kalıp için şişe ağırlığı ölçüm sonuçları (gr.) ..	77
Tablo 7.3: Servo feeder sonrası arka kalıp için şişe ağırlığı ölçüm sonuçları (gr.)	83
Tablo 7.4: Servo feeder sonrası ön kalıp için şişe ağırlığı ölçüm sonuçları (gr.).	84
Tablo 7.5: Şişelerde ağız hatası kontrolünün sonuçları	89
Tablo 7.6: Şişelerde dip hatası kontrolünün sonuçları	92
Tablo 7.7: Şişelerde gövde hatası kontrolünün sonuçları	95
Tablo 7.8: Şişelerde ağız çatlak ve boyut kontrolünün sonuçları	98
Tablo 7.9: I.S. makinesinde bağlı bulunan kalıpların kollara göre dağılımı.....	101
Tablo7.10: 1 numaralı kalıp için üretim takip sisteminde yapılan ölçüm sonuçları	101
Tablo7.11: 5 numaralı kalıp için üretim takip sisteminde yapılan ölçüm sonuçları	104

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Malzeme cinsine göre ambalajların sektördeki dağılımları	2
Şekil 3.1 : Yuvarlak ve kare kesitli cam ambalaj üzerinde basıncın etkisi.....	8
Şekil 3.2 : Farklı omuz şekillerinin dikey yük dayanımı	9
Şekil 3.3 : Cam cidar kalınlığı ile maksimum dayanılabilir termal şok arasındaki ilişki	10
Şekil 3.4 : Viskozite ile sıcaklık arasındaki ilişki	11
Şekil 4.1 : Cam ambalaj üretimi akım şeması	16
Şekil 4.2 : Cam ergitme işlemi aşamaları	19
Şekil 4.3 : Tipik bir besleyici mekanizması	21
Şekil 4.4 : İki parçalı cam ambalaj şekillendirme kalıbı	24
Şekil 4.5 : İki tip cam ambalaj dizaynı	25
Şekil 4.6 : Tipik bir I.S. şekillendirme makinesi	27
Şekil 4.7 : Üfleme – üfleme prosesiyle cam ambalajın şekillendirilmesi	29
Şekil 4.8 : Pres – üfleme prosesiyle cam ambalajın şekillendirilmesi	30
Şekil 4.9 : Dar ağızlı cam ambalajın pres – üfleme prosesiyle şekillendirilmesi	31
Şekil 4.10 : Soğuma esnasında cam kesitinde sıcaklık ve gerilim profilleri	32
Şekil 4.11 : Tipik bir tavlama rejimi grafiği	33
Şekil 4.12 : Cam ambalaj için tipik bir tavlama fırını ve sıcaklık profili	34
Şekil 4.13 : Cam ambalajda görülen kritik hata örnekleri	38
Şekil 4.14 : Cam ambalajda görülen fonksiyonel hata örnekleri	41
Şekil 4.15 : Cam ambalaj ağız iç – dış masterları	44
Şekil 4.16 : Cidar kalınlığı ölçüm cihazında bulunan hassas başlıklar.....	45
Şekil 4.17 : Gövde kontrolü ve boyut ölçüm cihazı	46
Şekil 4.18 : Çatlak kontrol cihazının çalışma prensibi	47
Şekil 4.19 : Cam ambalaj ağız kontrolünde ekranda elde edilen görüntü örneği .	48
Şekil 4.20 : Cam ambalaj dip kontrolünde elde edilen görüntü örneği	49
Şekil 4.21a) : Plakalı paletleme örneği	52
Şekil 4.21b) : Tepsili paletleme örneği	52
Şekil 4.23 : Tutma – yerleştirme prensibine göre çalışan otomatik paletleme Makinesi	53
Şekil 5.1 : Üretim takip sistemi uygulanan tipik bir cam ambalaj üretim hattı.	56
Şekil 6.1 : Değişken örnek büyüklükleri için hazırlanmış p kontrol çizelgesi Örneği	65
Şekil 6.2 : Proses yeterliliğinin (1,33) spesifikasyon limitlerini merkezlemesi .	69
Şekil 7.1 : Anadolu Cam Sanayi Topkapı fabrikası A – 3 hattı yerleşim planı	73
Şekil 7.2 : 71 65 10 kodlu ecza şişesinin teknik çizimi	75
Şekil 7.3 : Servo feeder öncesi arka kalıp için $\bar{X}$ &R kontrol çizelgesi	79
Şekil 7.4 : Servo feeder öncesi ön kalıp için $\bar{X}$ &R kontrol çizelgesi	80
Şekil 7.5 : 71 63 10 kodlu ecza şişesinin teknik çizimi	82
Şekil 7.6 : Servo feeder sonrası arka kalıp için $\bar{X}$ &R kontrol çizelgesi	86

Şekil 7.7	: Servo feeder sonrası ön kalıp için $\bar{X}$ &R kontrol çizelgesi	87
Şekil 7.8	: Ağız kontrolü için p kontrol çizelgesi	91
Şekil 7.9	: Dip kontrolü için p kontrol çizelgesi	94
Şekil 7.10	: Gövde kontrolü için p kontrol çizelgesi	97
Şekil 7.11	: Ağız iç – dış boyut ve çatlak kontrolü için p kontrol çizelgesi	99
Şekil 7.12	: 1 numaralı kalıp için p kontrol çizelgesi	103
Şekil 7.13	: 5 numaralı kalıp için p kontrol çizelgesi	105

SEMBOL LİSTESİ

$A_2,$	: X diyagramı kontrol limitleri hesaplama sabitleri.
c	: Yığındaki hata sayısı.
$\bar{c}$	: Bir örnek grubundan hesaplanan ortalama sayısı.
C_p	: Proses yayılımının spesifikasyon limitleri ile ilişkisini belirtir.
C_{pk}	: Proses ortalamasının nominal değer ile ilişkisi.
D_4, D_3, d_2	: R diyagramı kontrol limitleri hesaplama sabitleri.
k	: Alt grup sayısı.
p	: Bir örnek grubunun ortalama hata oranı.
$\bar{p}$	: Örnek gruplarının ortalama hata oranı ortalaması.
np	: Bir örnek grubunun hata sayısı.
$\bar{np}$	: Örnek gruplarının hata sayısı ortalaması.
$\underline{R}$	: Bir örnek grubunun dağılma aralığı.
$\overline{R}$	: Kontrol çizelgesi için alınan örnek gruplarının dağılma aralıklarının ortalaması.
$\hat{\sigma}$	: Standart sapma
u	: Yığındaki birim başına düşen hata sayısı.
$\bar{u}$	: Bir örnek grubundan hesaplanan birim başına düşen ortalama hata sayısı.
$\bar{x}$	: Bir veri grubunun aritmetik ortalaması.
X	: İncelenen prosesten alınan veri.
$\bar{\bar{x}}$	: Kontrol diyagramı için alınan örnek gruplarının aritmetik ortalamasının ortalaması.

1 – GİRİŞ

Ambalaj, günlük yaşamımızın doğal olarak kabul edilen alışılmış bir parçası olmakla birlikte ayrıca, yaşamı taşıyan önemli bir düzendir de.

Üreticiden depoya, perakendeci ve tüketiciye kadar ambalajın temel fonksiyonu, malları içinde bulundurmaktan ibaret iken modern ambalajın güzergahta diğer temel fonksiyonları da yerine getirdiğini açıklamakta fayda vardır. Bu fonksiyonlar aşağıda sıralanmıştır;

- Ambalaj içindeki ürünü korur.
- Ambalaj ürünün bozulmasını engeller.
- Ambalaj maliyetleri azaltır.
- Ambalaj bilgilendirir.
- Ambalaj koruma sağlar [1].

Ambalaj malzemelerine baktığımızda, temel olarak; kağıt / karton, plastik, cam, metal ve ahşap ağırlıklı olmak üzere beş ana gruba ayırdıklarını görmekteyiz. Ancak içindeki ürüne göre, fiziksel ve kimyasal açıdan uygun yapılarda düzenleme yapılması zarureti, ana malzemelerin yeni teknolojilerle işlenerek farklı kullanımlarını ortaya çıkarmaktadır. Yani söz konusu malzemelere koruyuculuk ve raf ömrü açısından esneklik sağlanmaktadır. Ana malzemeler doğrudan kullanıldığı gibi kendi aralarında ya da birbirleri ile bağlanmak, bir ya da iki yüzeylerine kaplama yapılmak suretiyle esnek ambalaj olarak ta kullanıma sunulmaktadır.

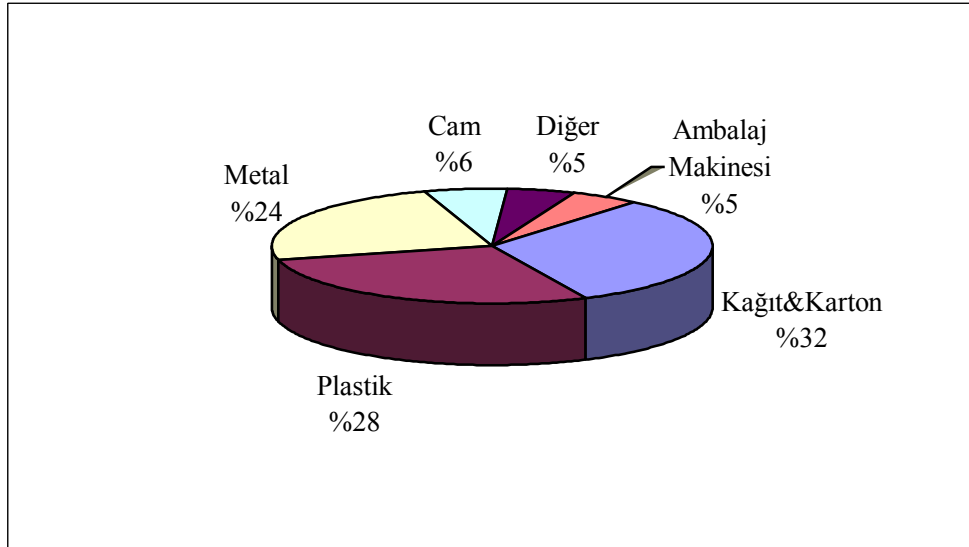
Türkiye ambalaj sektörünün 2000 yılı toplam üretim değerleri Tablo 1.1’de görülmektedir. Bu tablo incelendiğinde, fiziksel büyüklük olarak 2,5 milyon tonu bulan üretimin parasal büyüklüğünün yaklaşık 2,5 milyon USD’ı bulduğu görülmektedir. Yıllık tüketim ise yapılan ithalat ile birlikte 2,7 milyon ton civarındadır. Tüketim sektöründe kullanılan ambalaj malzemelerinin %37’sini esnek ambalaj folyoları, kağıt, karton ve oluklu mukavva ambalajlar, %22’sini metal, %20’sini plastik, %8’ini cam ve %13’ünü de ahşap ambalajlar oluşturmaktadır.

Tablo 1.1: 2000 yılı Türkiye Ambalaj Sektörü Üretim Değerleri Tablosu

Ürün Dalı	Kapasite (ton)	Üretim (ton)	Kapasite kullanım oranı %
Kağıt ambalajlar	127.950	107.000	90.8
Karton ambalajlar	322.000	148.500	46.0
Oluklu mukavva ambalajlar	1.345.000	717.000	53.4
Plastik ambalajlar	** 800.000	530.000	66.2
Esnek ambalajlar	120.000	92.500	75.1
Metal ambalajlar	500.000	360.000	70.0
Cam ambalajlar	300.000	200.000	66.6
Ahşap ambalajlar	450.000	350.000	77.7
TOPLAM	3.964.950	2.505.000	60.7

(**) Direkt plastik ambalaj malzemesi üretimi olup diğer ambalaj malzemesi yapılarında kullanılanlar dahil değildir [1].

Şekil 1.1’de ise dünya ölçeğinde, ambalaj malzemelerinin, ambalaj sektöründe sahip oldukları kullanım oranlarının dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 1.1: Malzeme cinsine göre ambalajların sektördeki dağılımları [2].

Yukarıdaki şekilden de görüldüğü gibi ambalaj malzemesi olarak camın dünyadaki kullanım oranı oldukça düşük olmasına rağmen, cam geleceği olan bir ambalaj malzemesidir. Modern ambalajın sahip olması gereken niteliklerine baktığımızda bunu net bir şekilde görmek mümkündür.

1. Öncelikle ambalaj, ürünün sürekli taze kalmasını sağlayabilmelidir. Ambalaj ile içindeki ürün arasında herhangi bir kimyasal etkileşim meydana gelmemelidir. Ambalaj tam anlamıyla hijyenik olmalı ve içindeki ürünün kalitesini muhafaza edebilmelidir.

Kimyasal yapısı nedeniyle cam, mümkün olan en iyi şekilde, bir ambalaj malzemesinden istenen tüm gereklilikleri karşılayabilmektedir. Bu nedenle cam ambalajın yüzeyinde, muhafaza ettiği ürünle reaksiyona girebilecek herhangi bir organik-sentetik kaplama bulunmaz. Cam ambalaj çok yüksek sıcaklıklarda ergitilerek üretilmesi nedeniyle de yapısında hiçbir kalıntı bulundurmamaktadır.

2. Cam, ambalajlanan ürün için herhangi bir tehlike oluşturmamaktadır. Zararlı maddelerin camdan ürüne nakledilmesi ve aynı şekilde cam ambalaj ile ürün arasında herhangi bir zararlı reaksiyonun meydana gelmesi mümkün değildir. Bu açıdan cam ambalaj metale göre farklılık göstermektedir.
3. Cam çevrenin korunması açısından da faydalı bir malzemedir. Öyle ki camın geri dönüşüm sistemi diğer branşlardaki malzemelerin geri dönüşümüne model olabilmektedir. 1970’den beri camın geri dönüşüm sistemi sürekli olarak gelişme göstermiş ve yaygınlaşmıştır. Hatta günümüzde cam, yüksek bir geri dönüşüm oranına (> %90) ulaşmıştır. Diğer malzemeler ise daha düşük geri dönüşüm oranlarına ancak büyük zorluklarla ulaşabilmekte veya bazı durumlarda hiç ulaşamamaktadırlar.
4. Cam ambalajın sahip olduğu çok farklı dizaynlar ve renkler, onun içecek endüstrisinin vazgeçilmez ambalaj malzemesi olmasını sağlamıştır. Öyle ki günümüzde tüm içeceklerin %80’i cam şişelerde muhafaza edilmektedir. Cam ambalaj ayrıca gıda, kozmetik ve ilaç sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır.
5. Ambalaj, tüketiciler için uygun olmalı, tekrar etiketlenebilir olmalı ve mümkün olduğu kadar çekici olmalıdır [3].

2 – CAM AMBALAJIN TARİHÇESİ

Arkeolojik çalışmalardan, insanoğlunun yaptığı ilk cam örneklerinin M.Ö 3000 - 4000 yıllarında Mısır ve Mezopotamya’da olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, cam üretiminin M.Ö. 8000 yıllarında Mısırdaki yapılan çömlekçilik ile de yakından ilgili olduğuna inanılmaktadır. Çömleklerin pişirilmesi esnasında tesadüfi olarak soda ile bileşik oluşturmuş kireçli kumun varlığı tespit edilmiş ve çömlek pişirim fırınlarının aşırı ısınması sonucunda seramik yüzeyinde renkli bir sır (camsı tabaka) tabakası oluşmuştur.

M.Ö. 1500 yılı başlarında ise Mısırlı cam imalatçıları kum kalıba döküm tekniğini geliştirmişlerdir. Bu teknikte, cam imalatçıları merhem veya yağların muhafaza edildiği cam ambalajları, kum veya seramikten yapılan katı bir kalıp etrafında şekillendirmişlerdir. Camcı, bir çubuk ile tutturduğu döküm kalıbını ergimiş cam içine daldırarak ve ilk kullanılabılır cam ambalaj meydana getirilmiştir.

M.Ö. 200 yıllarında Suriyeli camcılar, cam üfleme çubuklarını keşfederek kesin bir teknik keşfin ilk adımını atmışlardır. Bu çubuk, 100 ile 150 cm arasında 1 cm çapında demirden yapılmış bir tüp şeklindeydi. Cam imalatçıları bu çubuğu fırının içindeki sıvı cam damlasını almak ve çubuğun bir tarafından üfleme suretiyle de içi boş cam ürünler üretmek için kullanmışlardır. Camın üfleme çubuğu ile üflenmesi, sadece basit yuvarlak kapların yapılmasını sağlamamış ayrıca ince cidara sahip çok çeşitli şekillerde kaliteli cam ürünler yapılmasına da imkan vermiştir. Cam ürünlerin şekillendirilmesinde kullanılan ahşap kalıplar ise standart şekillerde cam ürünlerin üflenmesine imkan sağlamıştır. Yapılan arkeolojik çalışmalar neticesinde, milattan sonra (M.S.) 8. ve 9. yüzyılda, Roma imparatorluğu sonrasında müslüman imparatorlukların yükseliş dönemine ait çok renkli cam kaplar hatta çeşitli desenlerde cami lambalarına rastlanmıştır.

M.S. 100 yıllarında ise fırınların gelişimi ile birlikte cam bileşimine mangan oksit' in girmesi neticesinde renksiz cam üretimine yönelik ilk başarılı denemeler yapılmıştır. Daha yüksek sıcaklıklara ulaşılması ve yanma atmosferi üstünde daha iyi bir kontrolün sağlanması yapısal malzemelerin tam olarak ergitilmesine imkan vermiş buda cam kalitesinin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur [4].

Avrupa da ise 13. yüzyılda yeniden bir canlanma olmuş, özellikle Venedik cam konusunda bir kültür ve ticaret merkezi haline gelmiştir. Ancak, bu dönemde venedikli cam imalatçıları cam ile sadece sanatsal açıdan ilgilenmişlerdir. Bu nedenle 17. yüzyıla kadar şarap, yağ ve diğer ürünlerin muhafazasında deri şişe veya topraktan yapılmış çömlekler ambalaj olarak kullanılmıştır.

Eski çağlardan beri kullanılmakta olan pota fırınları seri üretimler için uygun değildi. Friedrich-Siemens tarafından tank fırınların icat edilmesiyle sürekli üretime ve makinelerin kullanımına olanak sağlanmıştır. Fırın teknolojisi rejeneratif işlem ile geliştirilmiştir. Bu işlemde, ergitme fırınından çıkan sıcak gazlar brülör gazının ve hava karışımının ısıtılmasında kullanılmakta ve böylece yakıtın daha verimli bir şekilde yanması sağlanarak daha yüksek ergime sıcaklıklarına ulaşılabilir. 1900'lü yıllardan kısa bir süre öncede Amerikalı Micheal Owens (1859 – 1923) Avrupa'ya yüzyılın devrinden sonra giren otomatik şişe üfleme makinesini icat etmiştir [4].

II. dünya savaşı ve sonrasındaki durgunluk dönemini takip eden son on yıl, cam şişe üretim tekniklerinde ciddi gelişmelerin olduğu bir dönem olmuştur. Yeni cam fırınları dizayn edilmiş ve yaygınlaşmıştır. Bazı cam fabrikaları da bu yeni teknikleri ve makineleri sisteme adapte edebilmek için fabrikalarını tekrardan kurmuşlardır.

Bu çalışmalar boyunca önemli olan iki konu; şişe üretim maliyetlerini düşürmenin en emin yolu olarak, üretim hızının artırılmasına yönelik çalışmalar yapmak ve kullanım verimliliğini daha da artıracak şişeler üretmektir. Geçen yüzyılda üretilen cam şişeler oldukça ağır olmaktadır. Bunun nedeni ise imalatçıların camın dağılımını kontrol edememeleriydi. Dolayısıyla, şişenin her noktasında yeterli mukavemeti sağlayabilmek için cidar kalınlığının fazla olması gerekiyordu.

Cam ambalajın imalat tekniklerinin geliştirilmesiyle birlikte şişelerin mukavemetini düşürmeden cam ağırlığını düşürmek mümkün olabilmektedir. Bunun neticesinde de daha hafif cam şişeler daha hızlı olarak dolayısıyla da daha ekonomik imal edilebilmiştir.

Yeni cam ambalaj dizaynları, esas olarak ambalajlanacak yeni bir ürün üretildiğinde veya mevcut ürünün yeni metotlarla dağıtılmaya başlanması durumunda yapılmaktadır. Cam ambalajın dizaynında iki eğilim görmek mümkündür. Yüksek hızlı hatlarda yürütülen ve mümkün olduğu kadar hafif ve ucuz olması gereken şişelerin dizaynı, daha basit ve fonksiyonel olmaya başlamıştır. Hemen hemen bütün şişeler üst kısımları silindir taban kısımları da düz olacak şekilde dizayn edilmiştir [5].

3 – CAM AMBALAJIN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ İLE UYGULAMALARI

Cam, soğutma sonucu kristalleşmeden katılaştıran bir ergitme ürünü olup, ısıtılınca akışkanlık kazanan, soğuyunca sertleşerek saydam veya mat görünüm verebilen gevrek bir malzemedir. Camın mekanik mukavemeti oldukça yüksek olmasına rağmen, yapısal özelliği nedeni ile camın işlenmesi sırasında yüzeyde oluşan ve gözle görülmeyen çatlaklar bu özelliğini bozar [6].

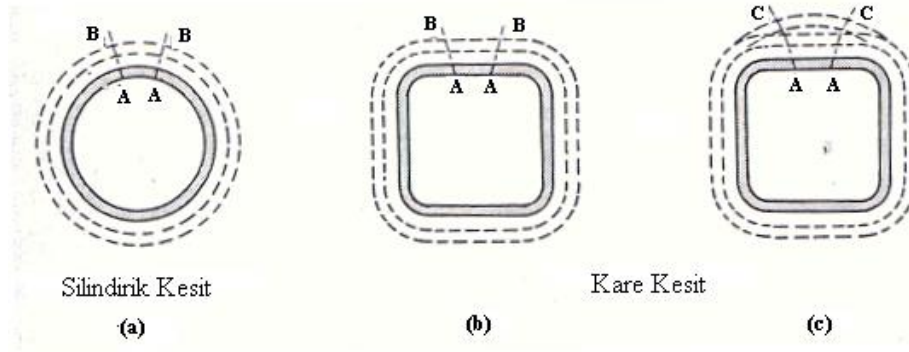
Bütün cam ürünlerde olduğu gibi cam ambalajında kullanım şartlarına uygunluğu fiziksel ve kimyasal özellikleri tarafından belirlenmektedir. Cam ambalajın belli başlı fiziksel özelliklerini, basınç veya darbeye maruz kalan şişelerin kırılmaya karşı dayanıklılığının ölçüsü olan mekanik mukavemet, sıcaklık değişimlerine karşı şişelerin davranışını belirleyen termal mukavemet, camın rengiyle birlikte ışık geçirgenliğini de belirleyen optik özellikler, camın akışkanlığını belirleyen viskozite olarak sıralamak mümkündür. Kimyasal özelliklerini ise camın yüzeyi ile muhafaza ettiği sıvı ve gazlar arasındaki reaksiyonlar belirlemektedir.

3.1 – Fiziksel Özellikler

Mekanik Mukavemet

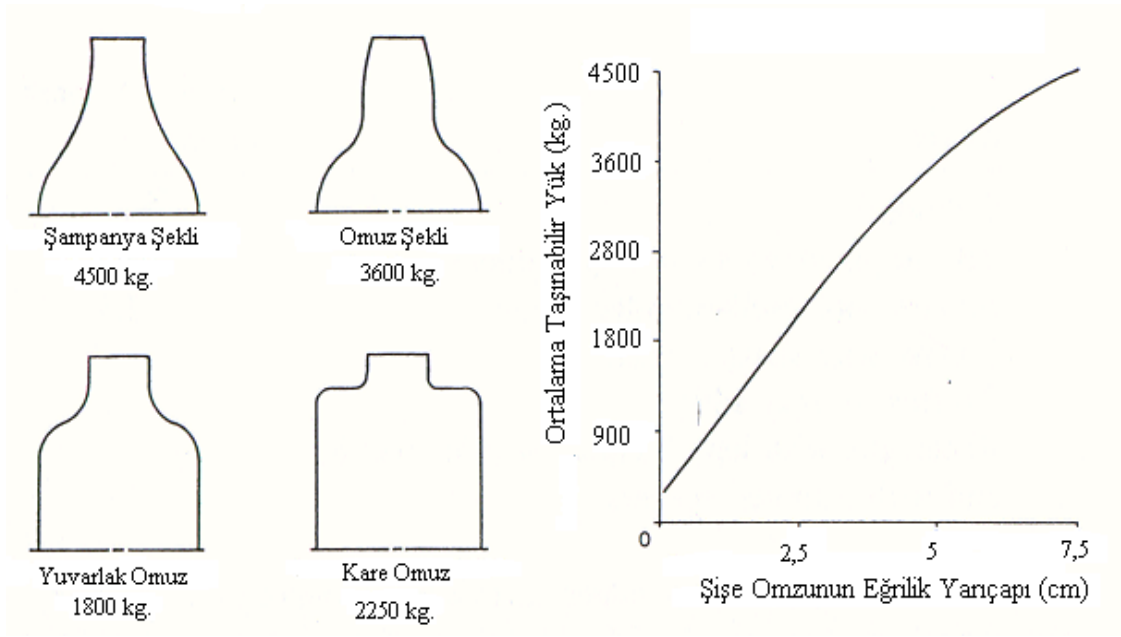
Cam ambalajın mekanik mukavemetini incelerken, iç basınç veya dikey yükler gibi sürekli kuvvetlere karşı direnç ile darbeler gibi ani uygulanan kuvvetlere karşı direnci göz önüne almakta fayda vardır. Ayrıca çizilmeye karşı direnç veya diğer yüzey bozuklukları da önemlidir. Bunlardan en belirgin olanı kesin ve doğru bir şekilde ölçülebilir olması ayrıca ambalajın dizaynı ile arasında karşılıklı bir ilişki bulunması nedeniyle iç basınç dayanımıdır [5].

Bir cam şişenin basınç dayanımı, şişeye düzenli veya kademeli şekilde, şişe kırılana kadar iç basınç uygulamak suretiyle ölçülmektedir. Cam ambalajın dizaynının basınç dayanımı üzerindeki etkisini incelediğimizde, silindir şekilli cam ambalajın üstünlüğünün nedenini Şekil 3.1’de görmek mümkün olmaktadır.



Şekil 3.1: Yuvarlak ve kare kesitli cam ambalaj üzerinde basıncın etkisi [5].

Homojen şekilli bir cam ambalaja iç basınç uygulandığında, cam ambalaj Şekil 3.1a’da görüldüğü gibi AA noktasından BB noktasına kadar homojen bir şekilde genişler. Daha az simetrik şekle sahip bir cam ambalaj basınca maruz kaldığında ise iki farklı etki görülebilmektedir. Birinci etki Şekil 3.1b’de görüldüğü gibi genel bir tepki olarak ambalajın boyutlarında bir artış meydana gelir ve ortaya çıkan gerilim hemen hemen silindir şekilli ambalaj ile aynıdır. Ancak ambalajın orijinal şeklinde, bazı bölgelerinin diğer kısımlara oranla basınca daha dirençli olmaları nedeniyle çarpılmalar meydana gelebilir. Ambalajın basınç direnci düşük olan kısımları nedeniyle meydana gelen bozulma Şekil 3.1c’de görülmektedir. Sonuç olarak kare kesitli bir ambalajda, uygulanan basınç altında ortaya çıkan gerilim, silindirik bir ambalaja oranla daha yüksek olmaktadır. Dolayısıyla her iki ambalaja uygulanan basıncın arttırılması durumunda kare kesitli ambalaj silindir kesitli ambalaja göre daha düşük basınç değerlerinde kırılma noktasına ulaşacaktır [5]. Cam, çok yüksek basınçlara dayanabilen bir malzemedir. Eğer harici yükler bir şişe üzerinde tek bir yönde uygulanırsa, şişede bir çarpılma yada kırılma genellikle meydana gelmemektedir. Pek çok cam şişe dizaynında en büyük gerilim şişenin omuz bölgesinde meydana gelmektedir. Şekil 3.2’de cam şişenin dört farklı omuz şekli için ortalama taşınabilir yük miktarları ve dikey omuzların yarı çapı ile taşınabilir yük miktarları arasındaki ilişki gösterilmektedir [5].

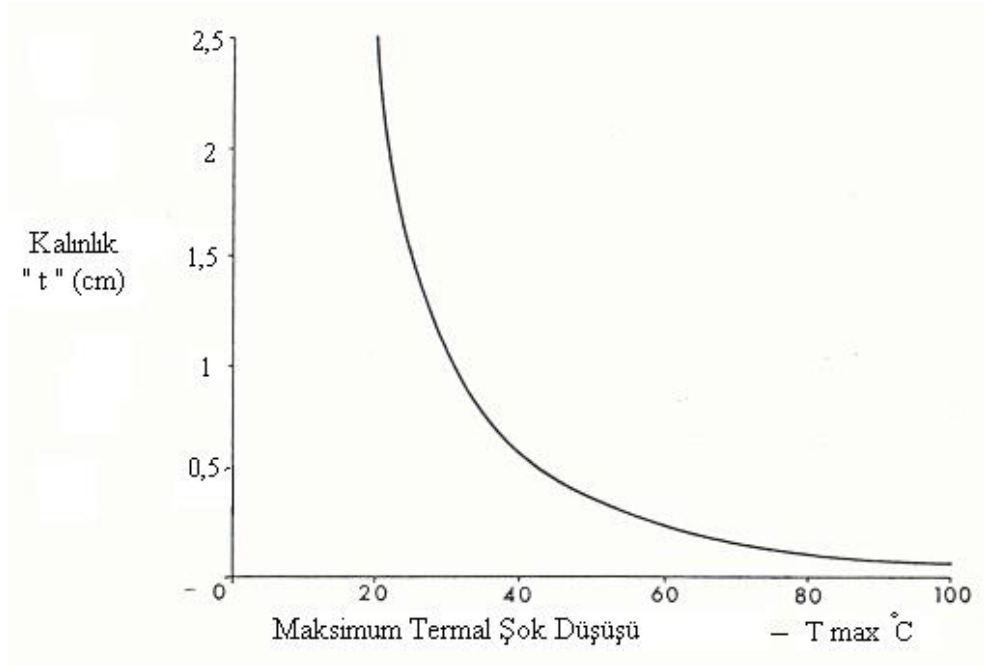


Şekil 3.2: Farklı omuz şekillerinin dikey yük dayanımı [5].

Termal Şok Dayanımı

Termal şok dayanımı, ani sıcaklık değişimlerine karşı malzemenin gösterdiği dirençtir. Sabit sıcaklıkta olan camın bir yüzeyi aniden soğutulursa soğumuş olan cam büzölmeye çalışacaktır. Ancak bu büzölme isteği camın daha sıcak olan yüzeyi tarafından engellenecektir. Sonuç olarak camın soğuk yüzeyinde gerilim oluşurken, sıcak yüzeyde sıkışma meydana gelecektir.

Ani sıcaklık değişiminin yukarı doğru olması halinde gerilimde aynı yönde oluşmaktadır. Yani büzölme sıcak tarafta olurken, gerilim soğuk tarafta meydana gelmektedir. Sonuç olarak her iki yüzeyin aynı anda ısıtılması halinde diğer yüzeyde bir gerilim oluşması söz konusu olmaz. Pratikteki uygulamalardan, ani soğutma işlemi sonucunda şişenin bir yüzeyinde ortaya çıkan gerilim miktarının, diğer yüzeyin ani ısıtılması halinde açığa çıkan gerilim miktarından iki kat daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Termal şok dayanımında cam ambalajın cidar kalınlığı da önemli bir faktördür. Çünkü, daha ince et kalınlığına sahip cam ambalajın, yüzeyleri arasında büyük sıcaklık farklılıklarının oluşması daha zor olmaktadır. Cam mamulün cidar kalınlığı ile termal şok dayanımı arasındaki bu ilişki Şekil 3.3'te ifade edilmiştir [5].



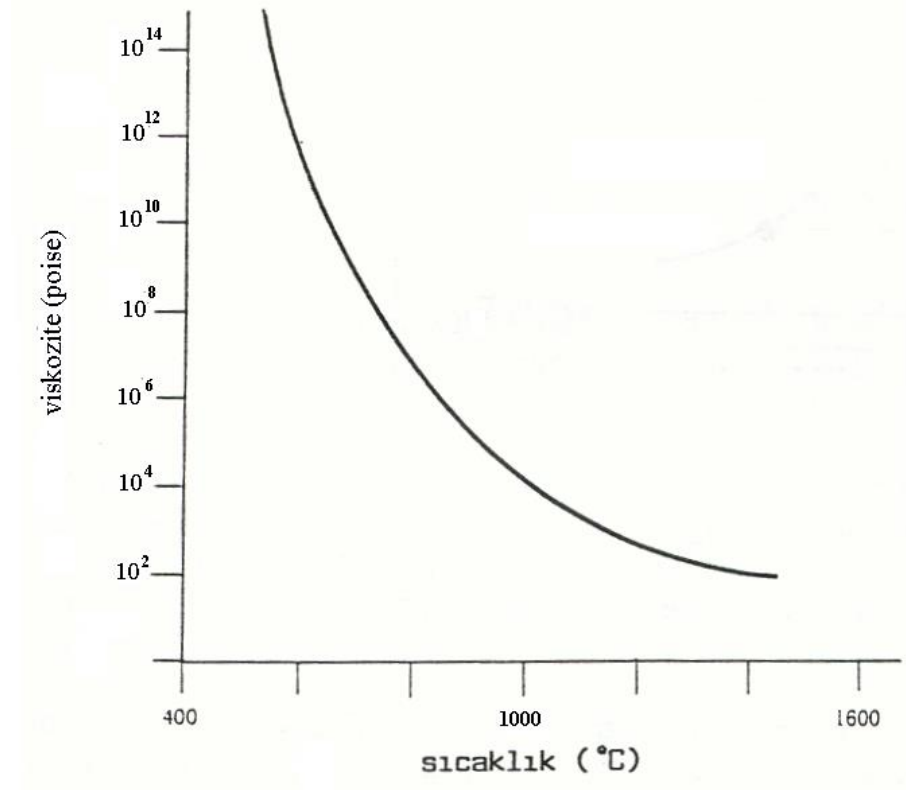
Şekil 3.3: Cam cidar kalınlığı ile maksimum dayanılabilir termal şok arasındaki ilişki [5].

Camın Viskozitesi

Bir akışkanın akmaya karşı direnci olarak tanımlanan viskozitenin sıcaklığa bağlı olarak değişimi cam imalatçıları açısından camın şekillendirilmesi safhasında çok önemlidir. Cam belli sıcaklıkta ve viskozitede kalıba girerek şekillenmekte ve bu arada bir miktar ısı kaybederek viskozitenin yükselmesi nedeni ile de kalıbın şeklini almaktadır [6].

Bir şişe üfleme makinesinin en büyük fonksiyonu, bir miktar sıcak sıvı camı alıp onu bir kalıp çerçevesinde istenilen şekle getirmektir. Bu noktada şüphesiz camın viskozite – sıcaklık değişimi eğrisi onun en önemli fiziksel özelliklerinden birini ortaya koymaktadır. Viskozite – zaman eğrisi ise cam ile makinenin birleşiminin bir sonucudur. Camın makineye girişinde ve şekillendirme sonrası makineden çıkışında belirli bir sıcaklığa sahip olması gerektiği yıllar önce anlaşılmıştır. Ancak bu kanı bazı sıcaklık dereceleri için yanlıştır. Gerçekte makineden çıkan camın belirli bir sertlikte veya katılıkta olması gerekmektedir. Böylece kalıbın şeklini alması mümkün olabilir.

Dolayısıyla ilk kademede gerekli olan camın sertliği, ikinci aşamada ise sıcaklığıdır. Her iki değerde viskozite – sıcaklık eğrisi ile bağlantılıdır. Viskozitenin sıcaklık ile değişimi Şekil 3.4’te görülmektedir [7].



Şekil 3.4: Viskozite ile sıcaklık arasındaki ilişki [8].

Optik Özellikler

Cam, yüzeyine gelen ışığın bir kısmını direkt olarak absorblar ve absorblanan ışığın bir kısmı diğer yüzeyden, geri kalanı da camdan geçer. Camın ışık geçirgenliği, camdan geçen ışığın cama gelen ışığa oranıyla belirlenir.

Camın ışık geçirgenliğini etkileyen en önemli faktörlerden biri, cama renk veren maddenin konsantrasyonudur. Renksiz harmanda kullanılan hammaddelerin içindeki demir safiyetsizliği cama gözle görülür mavi bir renk verir. Camdaki mavi rengi kimyasal olarak yeşile döndürmek üzere, yükseltgen olarak seryum oksit, yeşil rengi nötr hale getirmek için çinko selenit ve kobalt oksit kullanılır. Ancak renksizleştirme işleminin başarısı için camın içindeki demir % 0.90'dan fazla olmamalıdır [6].

Renksiz cam, görülebilir ışığın tüm dalga boylarını absorbe etmeden geçirmektedir. Şeffaf camlar ise eğer ışığın bir rengini diğerlerine göre daha fazla absorbe etmelerini sağlayacak bir takım elementleri içeriyorlarsa, renkli görülebilirler. Örneğin bal rengi camda, sarımsı bir renk oluşmaktadır. Çünkü sarı ışık camdan geçerken mavi, yeşil ve kırmızı ışığın bir kısmı absorblanmaktadır. Şişelerde görülen renk, camın kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Camın kalınlığının iki misli artması durumunda absorblanan ışık dört kat artmaktadır. Ayrıca kısmen şişenin şeklide, görülen rengi etkileyebilmektedir. [5].

3.2 - Kimyasal Özellikler

Camın, su, asit, baz, tuz çözeltilerinin veya uzun sürede atmosferik şartların meydana getirebileceği kimyasal etkilere karşı dayanma gücüne, kimyasal dayanıklılık denilmektedir. Camın kimyasal dayanıklılığı kompozisyonu ile bağlantılı olup, özellikle sodanın fazla, kalker, dolomit ve feldspatın eksik tartılması dayanıklılığı azaltmaktadır. Kimyasal dayanıklılık özellikle serum ve ecza şişeleri için önem arz etmektedir [6].

Son 20 yıl içinde cam şişelerin kimyasal dayanıklılığında önemli gelişmeler elde edilmiştir. Şişe üretim makineleri ilk kullanılmaya başlandığı zaman camın kompozisyonu sadece makinelerde kolay işlenebilmesini sağlayacak şekilde ayarlanırdı. Bu dönemde cam kompozisyonundaki soda oranı % 20 seviyelerinde idi. Üretim teknikleri ve camın kimyası ile ilgili bilgilerde yeni gelişmeler olmuş ve bunun neticesinde camın kompozisyonu kimyasal dayanıklılığını arttıracak şekilde ayarlanmıştır. Kimyasal dayanıklılığı arttırmak için soda (Na_2O) oranı yaklaşık % 14'e düşürülmüş ve alumina gibi bir takım katkı maddeleri de ilave edilmiştir.

Cam ile oda sıcaklığında hızlı bir şekilde reaksiyon veren tek sıvı hidroflorik asittir. Camın suyla reaksiyonunun mekanizması; suyun yapısında bulunan az miktardaki hidrojenin, cam içinde yayılma eğilimi göstererek suyun içinde eşit miktarda serbest kalan sodyum ile sodyum hidroksit çözeltisi oluşturması esasına dayanmaktadır [5].

3.3 -Cam Ambalajın Türleri ve Uygulama Alanları

Cam türlerinin sınıflandırılmasında en çok kullanılan yol camı kimyasal bileşimlerine göre sınıflandırmaktır. Kimyasal bileşimine göre yapılan sınıflandırmada üç önemli cam tipi; Soda-kireç camı, Borosilikat camı ve Kurşun camıdır. Bu cam tiplerinden cam ambalaj üretiminde yaygın olarak kullanılanlar soda-kireç camı ve borosilikat camıdır.

Tipik olarak soda-kireç camı ağırlıkça % 71-75 oranında kum (SiO_2), % 12-16 arasında soda (Na_2O), % 10-15 oranında kireç (CaO) ve az miktarda renklendirici gibi malzemelerden meydana gelmektedir. Soda – kireç camı özellikle şişe, kavanoz ve pencere camı gibi ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Soda–kireç camının bir avantajı; düzgün ve porozitesiz yüzeyinin şişelere ve ambalaj camlarına kolay temizlenebilme imkanı vermesidir. Soda-kireç cam ambalajlar içecek ve gıda türü ürünlerin tazeliğini koruyarak ve herhangi bir zararlı madde oluşumuna izin vermeden muhafaza edebilmektedir. Ayrıca bu tür cam ambalajların sulu çözeltilere karşı dayanımı tekrar tekrar kaynatılma durumlarında dahi yeterlidir.

Borik oksit içeren silikat camlar ise ikinci grup olan borosilikat camlarını oluşturmaktadır. Bu camlar diğer cam tiplerine göre daha yüksek oranlarda SiO_2 (% 70-80) içermektedirler. Borosilikat camları SiO_2 dışında % 7-13 arasında borik oksit (B_2O_3), % 4-8 Na_2O ve K_2O , % 2-7 arasında da Al_2O_3 içerirler. Borosilikat camları kimyasal korozyona ve sıcaklık değişimlerine karşı yüksek dayanıklılık gösteren bir kompozisyona sahiptirler. Bu nedenle bu tür camlar genellikle kimya endüstrisinde laboratuarlarda, eczacılık endüstrisindeki küçük şişelerin imalatında ve yüksek voltajlı lambaların ampullerinde kullanılmaktadır. Bunların dışında borosilikat camlar evlerde kullanılan ısıtıcı kapların imalatında da kullanılır [4].

Cam ambalajın belli başlı kullanım alanları;

- 1- Basınçlı Kaplar: Cam ambalaj üretiminin % 50'den fazlası bira ve alkolsüz içeceklerin muhafazasında kullanılmaktadır. Her iki üründe gazlı içecekler olarak ifade edilmekte ve bu ürünler oda sıcaklığında cam ambalaja 5 atm'e (500 kPa) kadar iç basınç uygulamaktadır.

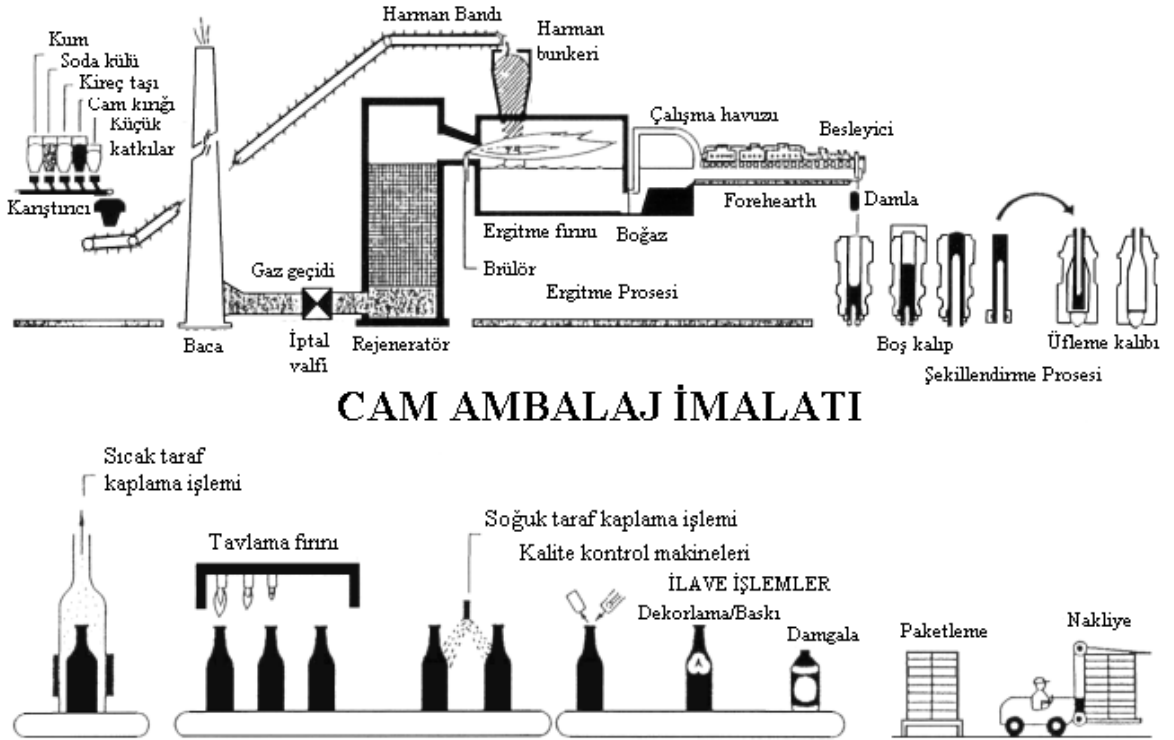
- 2- Damıtma Kapları: Cam ambalaj, genel olarak düşük asitli besinler gibi dolun ve damgalama işlemleri sonrasında sitrelize edilen besinlerin muhafazasında da kullanılmaktadır. Kısmen yüksek sıcaklıktaki (120 °C gibi) yüksek basınç, kapak contasında sızıntı olmasına neden olabilmektedir. Kısmi soğutma esnasında meydana gelen hızlı sıcaklık değişimleri ise camda termal şok kırılmalarına sebep olmaktadır.
- 3- Likör ve Şarap: Gazsız birer içecek olan şarap ve likör'ün muhafazasında kullanılan cam ambalajın dizaynında estetik görünüşü ve kolay dağıtılabilirliği, proses koşullarına göre daha fazla önem taşımaktadır. Likör, cin ve votka gibi beyaz içeceklerin muhafazasında kullanılan soda-kireç cam ambalajın iç yüzeyinde iğne şekilli CaSO₄ oluşumundan sakınmak için özel işlemler uygulamak gerekir. Bu tür ürünlerde alkol, cam yüzeyi ile reaksiyona girerek, şişenin tabanından büyümeye başlayan kristallerin oluşmasına imkan vermektedir. Bu tür bir reaksiyondan sakınmak için likör şişelerinin iç yüzeyi yüksek sıcaklıkta (540 °C) florin içeren gaz ile muamele edilir.
- 4- Sıcak Dolun/Soğuk Dolun Ürünleri: Cam ambalajın bir diğerkullanım alanı da 100 °C ve altı sıcaklıklarda doldurulan ürünlerin muhafazasıdır. Mesela tipik bir turşu kavanozu, kolay dağıtımı ve çekici bir etiket için maksimum alanı sağlayacak şekilde dizayn edilmektedir.
- 5- Eczacılıkla ilgili ürünler: Amerikan ecza standartlarında tanımlanan nitelikleri karşılayabilecek ambalajlamayı gerektiren eczacılıkla ilgili ürünlerin muhafazasında yine cam ambalaj kullanılır. Cam ambalajlar kimyasal dayanıklılıklarına göre Tip I, Tip II, Tip III ve Tip NP olarak sınıflandırılmaktadır. Tip I için gerekli özellikler borosilikat cam ambalaj ile karşılanmaktadır. Tip III camının kimyasal kararlılık gerekliliği ise genel olarak besinlerin ve içeceklerin muhafazasında kullanılan soda-kireç camı tarafından karşılanır.
- 6- Kozmetik: Parfüm şişesi gibi kozmetik uygulamalarında kullanılan cam ambalajlarda estetik görünüşe önem verilmektedir

- 7- Kimyasallar/Asit Uygulamaları: Cam ambalaj, kimyasalların muhafazasında çok amaçlı olarak kullanılmaktadır. Cam ambalaj, ambalaj üreticileri tarafından büyük miktarlarda üretilmekte fakat çok düşük hacimlerde kimyasal madde üreticilerine satılmaktadır [9].

4 – CAM AMBALAJ ÜRETİM SÜRECİ

4.1 – Genel

Cam ambalaj, üretim sürecine hammadde yataklarından veya madenlerin işlendiği kimyasal fabrikalardan başlamaktadır. Bu tesislerde ilk olarak kum, kireç taşı/dolomit ve soda gibi camın üç ana hammaddesi işlenmekte ve daha sonra cam fabrikalarına gönderilip, harman hazırlama dairesinde karıştırılarak fırınlarda ergitilmektedir. Hazırlanan harman cam ergitme fırınlarında ergitilip şekillendirilmeye hazır hale getirildikten sonra sıvı cam IS makinelerinde şekillendirilmektedir. Şekillendirilen cam ürün, tavlama prosesi ve kalite kontrol evrelerinden geçtikten sonra sevk edilmektedir. Cam ambalaj üretiminin bütün bu aşamaları Şekil 4.1’deki akım şemasında görülmektedir [10].



Şekil 4.1: Cam ambalaj üretimi akım şeması [10].

Hammadde Harmanı ve Cam Kırığı

Cam ambalaj üretim işleminin ilk aşaması, harman hazırlamadır. Harman dairesinde kuartz kumu, soda, kalsit, dolomit, feldspat ve cam kırığı gibi hammaddeler silolarda depolanmakta ve hassas bir harmanlama ve karıştırma işleminden sonra, bu hammadde bileşikleri konveyör vasıtasıyla fırına beslenmektedir [10].

İstenen cam kompozisyonunun elde edilebilmesi için kullanılacak hammaddelerin uygun miktarlarda ve yeterli hassasiyetle tartılıp, homojen bir karışım elde edilerek fırına nakledilmesi gerekir. Kalker, dolomit, soda ve feldspat silolarda depolanırken, kum ve cam kırığı dökme olarak fabrikaya gelmektedir. Silolarda toplanan hammaddelerin tartım işlemleri kantarlarda manuel, yarı otomatik ve tam otomatik olarak yapılabilmektedir.

Amaca uygun cam elde edilmesindeki en önemli faktör homojen bir harman hazırlanmasıdır. Hazırlanan harman miktarına bağlı olarak optimum karıştırma süresi, karışımdan alınan numunelerin analizi ile belirlenmektedir. Karışım rutubetinin, fırın içindeki tozmayı önleyecek şekilde % 3,5 – 4,5 dolaylarında olması için gerekirse karıştırıcıya su ilavesi de yapılmaktadır [6].

Hammadde harmanına, camın geri dönüşümünden kaynaklanan cam kırığı katkısı da belirli oranda yapılmaktadır;

Camın en önemli avantajlarından biri geri dönüştürülebilen bir malzeme olmasıdır. Camın geri dönüştürülmesinin belli başlı nedenlerini şu şekilde sıralamak mümkündür;

- 1- Camın geri dönüşümü atık temizleme maliyetlerinin ortadan kalkmasına neden olmaktadır.
- 2- Camın geri dönüştürülmesi, enerjiden de tasarruf sağlamaktadır. Cam kırığını ergitmek için gerekli olan enerji, doğal hammaddeden cam üretmek için gerekli olan enerjiden çok daha az olmaktadır.
- 3- Camın geri dönüştürülmesi çevrenin korunmasına da katkı sağlamaktadır. Fırınlarda cam kırığının kullanılması, her yıl yüzlerce hatta binlerce ton hammaddeden tasarruf edilmesine imkan vermektedir.

4- Camın geri dönüşümü, halkın atık problemlerinin ve geri dönüşümün faydalarının farkına varmasına katkıda bulunmaktadır. Her birey cam toplama kutularını kullanarak cam geri dönüşümünde aktif rol oynamaktadır. Bu çevreye bilinçli bir tüketici olmanın ilk adımıdır [10].

Cam kırığı, harmanı ve buna bağlı olarak cam eldesini etkilemektedir. Harmanın ergimesini etkileyen faktörler incelendiğinde genellikle aşağıdaki hususlar göz önünde tutulur;

- 1- Tane büyüklüğü ve dağılımı,
- 2- Cam kırığının harmana katılım oranı,
- 3- Harmanın diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Tane boyutu olarak 6 mm'nin altındaki cam kırıklarında seramik malzeme bulunma olasılığı yükseldiğinden tane boyutunun 10 – 30 mm arasında olması genel kural olarak kabul görmektedir. Cam kırığının harmana katılma oranları ise cam rengine göre değişiklik göstermektedir.

Giderek artan cam kırığı kullanım oranı ile birlikte harmanda artan safsızlık sorunları, sadece fırına hazır cam kırığının spesifikasyonlarının sıkı ve kesin bir şekilde belirlendiği bir cam kırığı hazırlama tesisinin kurulması ile çözülebilmektedir. Bu nedenle modern cam kırığı hazırlama tesislerinde, yıkama, kırma, sınıflandırma, eleme, seramik ayırma, manyetik ve manyetik olmayan metal ayırma işlemleri gibi birim işlemlerin bulunması gerekmektedir.

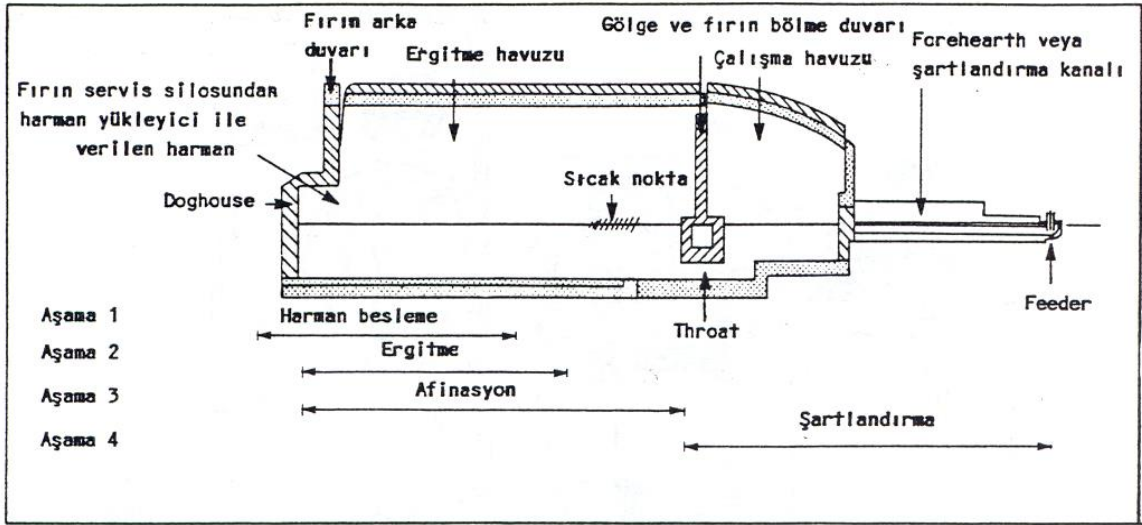
Cam harici atıklardan ayıklanan cam kırıkları, harman hazırlama dairesinde doğal cam hammaddeleri ile homojen bir şekilde karıştırılarak cam ergitme fırınlarına konveyör vasıtası ile taşınıp besleyiciler aracılığıyla da fırına beslenirler [11].

Üretim Prosesi Özeti

Cam ergitme fırınları, içinde ergime ve yanma olaylarının meydana geldiği refrakter yapı ile bu refrakter yapıyı tutan çelik konstrüksiyon yapıdan oluşmaktadır. Cam ergitme fırınlarında yakıt olarak genellikle fuel oil veya doğal gaz kullanılmaktadır. Yanma sonucu açığa çıkan gazlar ise yakma havalarının ısıtılmasında kullanılarak enerji tasarrufu sağlanmaktadır [6].

Ergitmenin ve afinasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi açısından camın, çok yüksek olan bir sıcaklığa ısıtılmaktadır. Bu nedenle camın, şekillendirme aşamasına gelmeden, şekillendirme için uygun olan sıcaklığa soğutulması gerekmektedir. Yapılan bu işlem, camın şartlandırılması olarak ifade edilir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi cam ergitme işlemi dört aşamadan meydana gelmektedir. Bu aşamalar;

1. Harmanın fırına verilmesi – HARMAN BESLEME
2. Harman maddelerinin bozunmaları, reaksiyona girmeleri ve harmanın oksitler halinde çözünmesi – ERGİME
3. Gaz habbelerinin ergimiş camdan uzaklaşması ve ayrı ayrı eriyiklerin birbirleriyle karışmaları – AFİNASYON
4. Camın uygun çalışma sıcaklığına soğutulması – ŞARTLANDIRMA



Şekil 4.2: Cam ergitme işlemi aşamaları [8].

Besleyici (forehearth) bölgesinde şekillendirme için uygun sıcaklığa getirilen sıvı cam, besleyici sistemde bulunan pompa pistonu (plunger) mekanizması yoluyla uygun ağırlıktaki cam parçaları şeklinde mekanik makaslar ile kesilerek şekillendirme kalıplarına beslenmektedir. Bu cam parçaları damla olarak adlandırılır [8].

Bölüm 4.3.1’de detaylı olarak incelenecek olan cam ambalaj şekillendirme kalıplarının imalatında, dökme demir, alaşımlı dökme demir, yüksek alaşım çelikleri, krom, nikel, bakır ve alüminyum alaşımları kullanılmaktadır [12].

Cam damlası, şekillendirme kalıplarına beslendikten sonra IS makinesi (Bkz. Bölüm 4.3.2) olarak ifade edilen şekillendirme makineleri ile cam ambalaj son şekline getirilmektedir. Cam ambalaj şekillendirme prosesinde, üretilen ambalaj türüne göre üfleme-üfleme, pres-üfleme veya dar boyunlu ürünler için pres-üfleme (NNPB) teknikleri kullanılmaktadır (Bkz. Bölüm-4.3.3) [10].

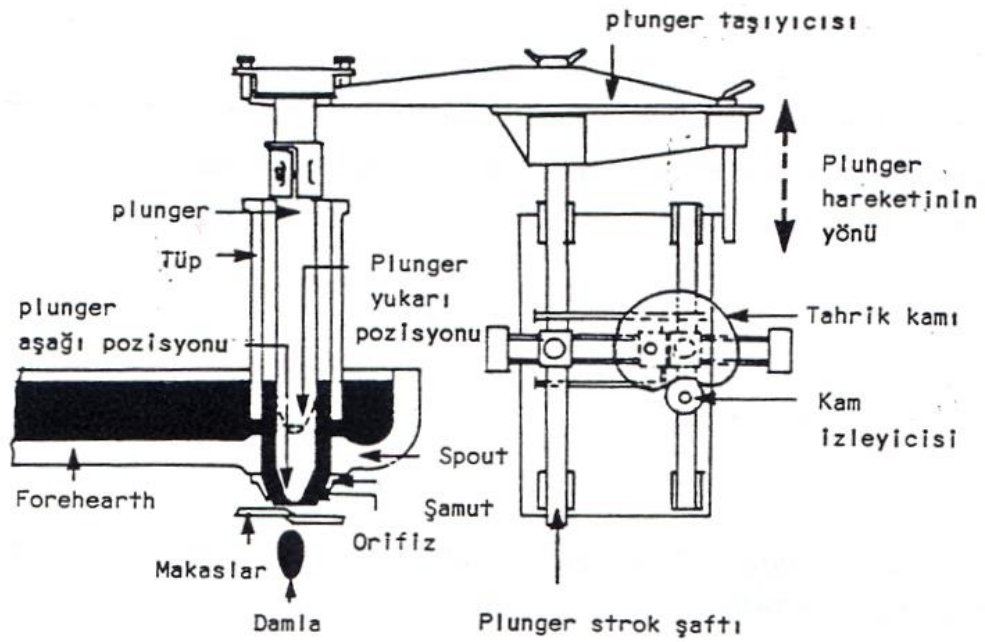
Şekillendirme işlemi sonrasında cam ambalajın bünyesinde mevcut olan gerilimlerin giderilmesi amacıyla cam ambalaja tavlama işlemi uygulanmaktadır. Tavlama işlemi, kontrollü bir soğutma prosesidir ve aynı zamanda ısıtmayı da gerektirebilir. Tavlama prosesi esnasında cam ilk olarak gerilimlerin kaybolduğu bir sıcaklığa kadar ısıtılmakta ve gerilimler kayboluncaya kadar bir süre bu sıcaklıkta tutulmaktadır. Bekletme aşaması sonrasında cam, bünyesindeki gerilimler tamamen giderilinceye kadar kontrollü olarak soğutulur. Gerilimin kaybolduğu kritik nokta geçildikten sonra cam ambalaj hızlı soğutma ile oda sıcaklığına soğutulur [12].

Tavlama işlemini takiben her bir cam ambalaj mamulü teker teker kalite kontrol istasyonlarına gönderilir. Hat üzerinde bulunan otomatik kontrol makineleri vasıtasıyla her bir cam ambalaj, boyutsal kararlılık, gövde, ağız ve dip kalitesi açısından kontrol edilir. Ayrıca kalite optimizasyonunu sağlamak için cam ambalajın darbeye karşı direnci de test edilmektedir. Kalite kontrol prosesi sonrasında cam ambalajlar otomatik olarak paletlenmekte ve streç film ile sarılıp sevkiyata hazır hale getirilerek dolum firmalarına nakledilmektedir [10].

4.2 – Damla Oluşumu

Başarılı bir ambalaj şeklinin oluşturulabilmesi için damlanın sahip olması gereken bir takım nitelikler bulunmaktadır. Bunlar; uygun bir sıcaklık, damlanın hacmi boyunca uygun sıcaklık dağılımı, uygun ağırlık, uzunluk, çap, ve uygun şekildir. Damlanın sahip olması gereken bu nitelikler forehearth tarafından sağlanmaktadır. Ergiyen cam, forehearth kanalına girmekte ve kanaldan aşağı doğru akarken tedricen soğutulmaktadır. Sıvı camın ne kadar soğutulacağı ve sıcaklık dağılımının ne olacağı, forehearth’ın sınır şartlarına bağlı olarak değişmektedir [13].

Forehearth'ın boyutları, içinden geçen camın miktarına bağlı olarak belirlenmektedir. Ayrıca istenen damlanın ağırlığına ve şekline bağlı olarak, farklı boyutlarda besleyici mekanizmaları ve besleyici ağızları da (spout) bulunmaktadır. Şekil 4.3'te tipik bir besleyici mekanizmasının kesiti görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi besleyici mekanizması ön fırının ucunda bir ağız bölümü ve ona bağlı bir orifis halkasından oluşmaktadır. Orifis halkasının üstünde ise refrakter bir tüp içinde hareket eden dikey bir pompa pistonu (plunger) bulunmaktadır.



Şekil 4.3.: Tipik bir besleyici mekanizması [12].

Camın akış hızı, orifis boyunca akan camın viskozitesine ve orifis üstünde bulunan camın yüksekliğine de bağlıdır. Orifis'teki camın viskozitesi, camın sıcaklığının ve kompozisyonunun sabit tutulmasıyla kontrol edilmektedir. Orifis üstündeki camın yüksekliği ise tüpün yüksekliği ile ayarlanmaktadır [12].

Cam pazarındaki daha yüksek kalite talebi, cam imalatçıların üretim hattının her noktasında daha hızlı ve daha güvenilir ekipmanlar kullanarak kalite geliştirme çalışmalarına yöneltmiştir. Cam ambalaj üretim hattındaki önemli noktalardan biri de besleyici (feeder) mekanizmasıdır.

Besleyici mekanizması geçmişten günümüze önemli değişimler geçirmiş ve bugün artık mekanik besleyici mekanizmaları yerine otomatik elektrikli besleyici mekanizmaları kullanılır olmuştur [14].

Elektrik besleyicilerin mekanik besleyicilere göre en önemli avantajı, imalat değişimlerinin çok kısa süre içinde yapılabilmesine imkan vermesidir. Mekanik besleyicilerde ise imalat değişimleri, bir takım mekanik ayar gereksinimleri nedeniyle çok daha uzun sürebilmektedir. Standart tipteki elektrik besleyiciler vida tipi bir pompa pistonu (plunger) mekanizmasına sahiptir. Dolaylı olarak ısıtılmış refrakter tüp özelliğindeki bu pompa pistonu, camın homojenizasyonu için gerekli olan sıcaklığın sürekliliğini sağlamaktadır [14]. Elektrik besleyici mekanizması ayrıca damla ağırlığı kontrolünün hassas bir şekilde yapılmasına imkan verirken, yüksek hızlarda homojen damla kesimi sağlayarak üretim hızını da arttırmaktadır. Ayrıca elektrik besleyici mekanizması, besleyici çalışırken pompa pistonu (plunger) mekanizması parametrelerinin değiştirilmesine de olanak sağlamaktadır [10].

Cam damlasının viskozitesi üretim verimliliğini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Buna rağmen, damlanın viskozitesinin ölçümü oldukça zordur ve bu nedenle de nadiren uygulanan bir işlemdir. Viskozitenin ölçümündeki zorluk, sıvı camın yüksek sıcaklığından ve viskozitenin direkt olarak üretim hattı üzerinde ölçülmesi gerekliliğinden kaynaklanmaktadır. Esas olarak viskozite sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla ön fırın bölgesinde camın sıcaklığını ayarlayarak viskozitesini kontrol altında tutmak mümkün olmaktadır [15].

Cam ambalajın şekillendirilmesi esnasında herhangi bir bozulmanın meydana gelmemesi için damla ağırlığı ve şeklinin sabit olması gerekmektedir. Cam damlasının bu iki parametresi şekillendirme makinesi (IS) operatörü tarafından kontrol edilmekte ve ayarlanmaktadır. Günümüzde ise cam damlasının ağırlığının kontrolü ve ayarlanması için otomatik sistemler geliştirilmiştir. Bugüne kadar otomatik damla ağırlığı kontrolü sadece basma-üfleme metodu ile çalışan şekillendirme makinelerinde mümkün olmaktaydı. Bu sistemde de damla ağırlığı pompa pistonunun pozisyonuna göre belirlenmekteydi. Günümüzde ise çoğunlukla kullanılmaya başlanılan teknik, damla ağırlığını kamera sistemleri ile ölçen opto-elektronik yöntemidir.

Bu sistemde damla kameranın görüş alanına geldiğinde damlanın bir tasviri kamera tarafından kaydedilmektedir. Teknolojideki gelişmeler, makinelerin verimliliğini arttırmak, otomasyonu sağlamak, çevre dostu bir üretim prosesine imkan vermek ve daha yüksek kalitede daha hafif cam ambalajlar üretmek konularında odaklanmaktadır [16].

4.3 – Camın Şekillendirilmesi

Camın şekillendirilmesindeki esas amaç; istenilen şekle sahip bir cam elde edebilmek için, sıcak ve akışkan olan camın soğumasını sağlarken aynı zamanda da oluşturulan cam şeklinin sabit kalmasıdır. Sabit bir şekle sahip cam mamul elde edilmesindeki en önemli iki parametre ise viskozite ve ısı transferidir. Bunların dışında yüzey gerilimi de problemsiz bir şekillendirme işleminde önemli bir rol oynamaktadır [17]. Bölüm 4.2’de açıklandığı gibi, şartlandırma işlemi sonrası şekillendirmeye uygun hale getirilen sıvı cam, damlalar halinde kalıplara beslenmektedir. Cam ambalajın şekillendirilmesinde IS makinesi olarak ifade edilen otomatik şekillendirme makineleri kullanılmakta ve cam damlası bu IS makinesi üzerinde bulunan şekillendirme kalıplarına beslenerek istenilen şekillerde cam ambalajlar üretilmektedir.

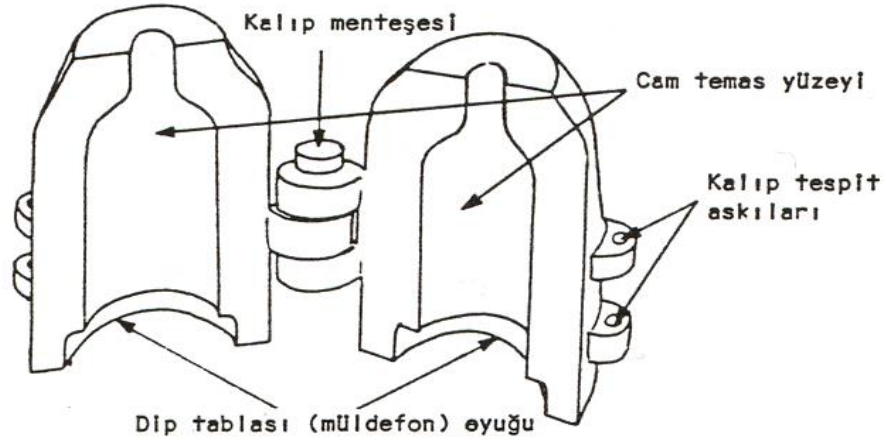
4.3.1 Şekillendirme Kalıpları

İstenilen şekillerde cam ambalaj üretebilmek için çeşitli boyut ve ölçülerde şekillendirme kalıpları kullanılmaktadır. Camın şekillendirilmesi esnasında ortaya çıkan çeşitli etkenler nedeniyle, tek tip bir kalıp malzemesi bulunmamaktadır.

Camın şekillendirilmesi sırasında kalıp malzemesi sıcak ve akışkan sıvı cam ile temas etmektedir. Bu nedenle kalıp malzemesinin öncelikle ısı dayanımının yüksek olması gerekmektedir. Ayrıca kalıp imalatında kullanılacak malzemenin aşınma, korozyon ve parlama davranışları da kalıbın cam ambalaj imalatına uygunluğunu belirlemektedir [17]. Cam ambalajın şekillendirilmesinde kullanılan kalıp malzemelerini dökme demir, alaşımlı dökme demir, yüksek alaşım çelikleri, krom, nikel, bakır ve alüminyum alaşımları olarak sıralamak mümkündür [12].

Genellikle cam ambalaj imalatında çeşitli tiplerde dökme demir malzemeler kullanılır. Bununla beraber üretim verimliliğinin, ürünün sahip olması gereken belirgin limitlerden önemli olduğu durumlarda daha uzun ekonomik kullanım için daha yüksek ısı iletkenliği sağlayan bakır-alüminyum-nikel'den oluşan bakır alaşımı malzemeler de kullanılmaktadır [18].

Kalıp malzemesi seçiminde, malzemenin çalışma sıcaklığı da etkili olmaktadır. 500 – 700 °C arasındaki çalışma sıcaklıkları için alaşımsız dökme demir kalıplar kullanılırken, 1000 °C'ye varan yüksek sıcaklıklarda ise nikel – krom alaşımı malzemeler kullanılmaktadır [17]. Cam ambalajın şekillendirilmesinde kullanılan kalıpların çoğu Şekil 4.4'te gösterildiği gibi iki parçalı olmaktadır.

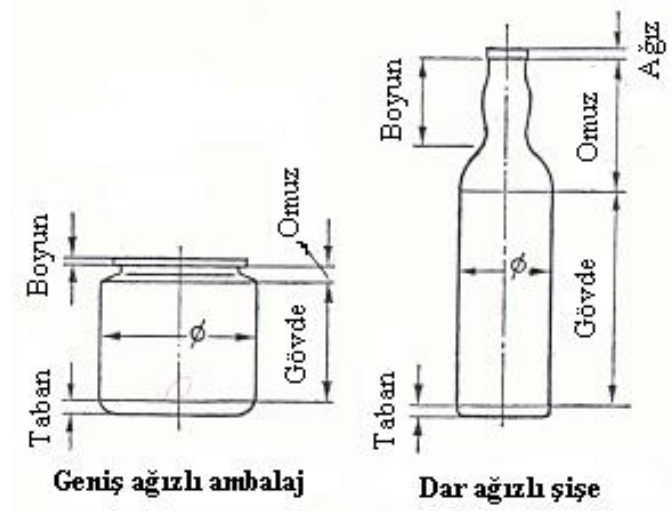


Şekil 4.4: İki parçalı cam ambalaj şekillendirme kalıbı [12].

Çoğu makinelerde iki kalıp tipi vardır, bunlar; mamulün taslak şeklini veren ve ebişör olarak ifade edilen kalıplar ile mamulün son şeklinin verildiği finişör, bir başka ifadeyle üfleme kalıplarıdır.

Ebişör kalıpları, parizon adı verilen cam şeklini meydana getiren bir iç forma (oyuğa) sahiptir. Bu şekil bitmiş üründen çok daha küçüktür. Üfleme kalıbındaki oyuk, üflenen ürünün son şeklidir. Şişe yapan makinelerde, şişe kafasının şekillendirilmesinde müldebak adı verilen daha küçük kalıp parçaları kullanılmaktadır. Aynı zamanda kalıp tabanına tespit edilmiş bir dip tablası (müldefon) da bulunmaktadır. Bu parça yerine yerleştiği zaman kalıp tabanının sızdırmazlığını sağlar [12].

Cam ambalaj ürünleri, geniş ağızlı ve dar ağızlı olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Şekil 4.5'te tipik birer geniş ağızlı ve dar ağızlı cam ambalaj dizaynı görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi geniş ağızlı ambalajın omuz bölgesi çok kısa olurken boyun bölgesi de yok denecek kadar kısa olmaktadır. Dar ağızlı ambalajlar ise çeşitli çaplarda dar ağız, boyun ve omuz ile karakterize edilmektedir.



Şekil 4.5: İki tip cam ambalaj dizaynı [17].

Cam ambalaj şekillendirme kalıplarının dizaynı yapılırken kalıp imalatçıları dikkat etmesi gereken hususları; Şişenin kullanışlı bir şekle sahip olması, keskin köşe ve açılardan, taşıma ve yükleme esnasında kırılmalara sebep olmaları nedeniyle kaçınılması, kuvvetli bir iç basınca maruz kalan cam ambalajın homojen bir cidar kalınlığına sahip olması şeklinde sıralamak mümkündür [17].

Şekillendirme makinelerinde çalışma hızının artırılması, makinenin performansı ve kalıp soğutma kapasitesinin artırılması ile ilişkilidir [19]. Şekillendirme makinelerindeki kalıpların soğutulması işleminde, yaygın olarak klasik soğutma sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemde, gerek ebişör, gerekse finişör tarafında radyal (konvansiyonel) olarak gelen kalıp soğutma havası, kalıbın yan yüzeylerine çarparak, kalıpları soğutmakta, kalıplar kapandığında ve açıldığında soğutma yerleri değişmektedir. Özellikle kalıp birleşme taraflarına soğutma havası değmediği için kalıbın en sıcak bölgeleri oluşarak, kalıbın iç yüzeylerinde homojen olmayan bir sıcaklık dağılımı meydana gelmektedir [20].

Emhart firması tarafında geliştirilen dikey soğutma (verti-flow) sistemi ile makinenin kalıp soğutma kapasitesi artırılmış ve kalıplarda homojen bir sıcaklık dağılımı sağlanmıştır. Bu sistem, sonlu elemanlar yöntemiyle hazırlanan bir paket program kullanılarak kalıplara en uygun çapta ve yerlerde delikler açılması ve soğutma havasının bu delikler içinden geçirilerek kalıpların soğutulması esasına dayanmaktadır [19].

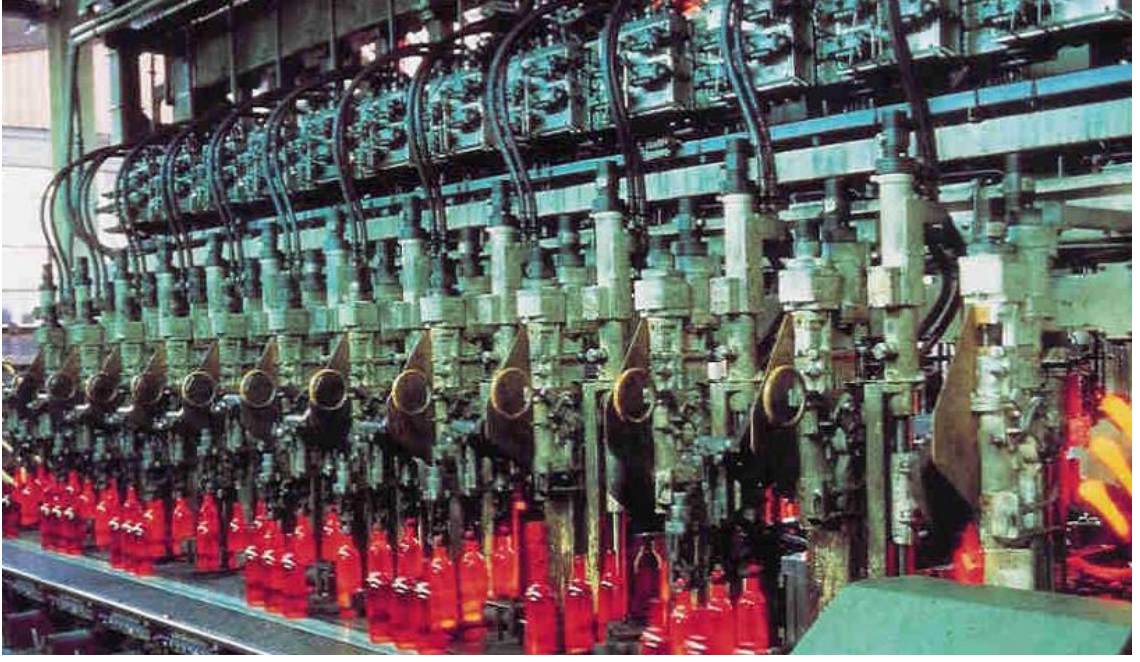
Cam ambalaj şekillendirme makinelerinde kullanılan şekillendirme kalıpları, korozyona dayanıklılığı arttırmak, sıvı camın metale yapışmasını önlemek ve cam ambalajın yüzey kalitesinin yüksek olması gibi nedenler ile yağlanmaktadır. Bütün kalıp yağları esas yağlayıcı malzeme olarak grafit içermektedir [21].

Şekillendirme kalıplarında genellikle katı film kaplama türlerinden seramik kaplama ve grafit kaplama uygulanmaktadır. Seramik kaplama ile kaplanmış ebişör kalıpları yağlama ihtiyacı göstermeden uzun süre ideal şartlarda makinede kalabilmektedir. Bu etkisinden dolayı seramik kaplama, yağlamayı önemli oranda düşürerek, işletme ortamını kirletici, yağ dumanı riskini de azaltmaktadır. Grafit kaplamanın dayanımı ise iki saat kadar sürmekte daha sonra saatte bir yağlama ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu süre seramik kaplamada 24 saate kadar çıkabilmektedir [21].

4.3.2 – Cam Ambalaj Şekillendirme Makineleri (I.S. Makineleri)

IS makinesi olarak ifade edilen şekillendirme makineleri, şişe ve kavanoz gibi cam ambalaj ürünlerinin yüksek hızlarda otomatik şekillendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

I.S. makineleri ilk kez 1925 yılında dört kollu olarak geliştirilmiştir. Bu makinelerde başlangıçta yalnızca üfleme tekniği, daha sonra ise geliştirilen teçhizatların kullanımı ile pres – üfleme tekniği kullanılır hale gelmiştir. I.S. makineleri birbirinin aynı olan ünitelerin yan yana gelmesinden oluşan makinelerdir ve kol adetlerine göre isimlendirilirler. Şekil 4.6’da tipik bir I.S makinesi görülmektedir [6]. I.S. makinesindeki kol sayısı, tahmin edilen ürün siparişi büyüklüğüne bağlı olup günümüzde uygulanmakta olan en büyük makineler 12 kolludur.



Şekil 4.6: Tipik bir I.S. şekillendirme makinesi [3].

I.S. makinesinin her bir kolu için bir damla yükleme sistemi bulunmaktadır. Makasların alt tarafında bulunan bir kepçe, içe ve dışa doğru hareket etmekte ve içte iken damlayı almaktadır. Ebişörün üst tarafında bulunan bir saptırıcı, damlanın yönünü değiştirmekte, böylece damla dikey olarak bir huni içerisinden aşağıya inerek kalıbın içine girmektedir. Besleyicide oluşturulan damla her bir kol için kepçe, oluk ve saptırıcı denilen üç parçalı bir damla yolundan geçerek I.S. makinesine ulaşmaktadır [12].

İlk başlarda kullanılan tek damla metodu ile üretime ilave olarak, ikili ve üçlü damla besleme ve şekillendirme yöntemleri de zaman içerisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. I.S. makinesinde bulunan istasyonlar basınçlı hava ile çalışan mekanizmalardan oluşur.

Her bir istasyon bir diğerinden bağımsız olarak çalıştırılabilmekte veya durdurulabilmektedir. Bu nedenle istasyonların birbirinden bağımsız hareket etmesi cam ambalaj üretiminin verimliliği açısından önemli bir etkidir. Yıllar boyunca cam ambalaj şekillendirme makinelerindeki gelişmelerin neticesi olarak cam ambalaj ürünlerde de gelişmeler olmuştur. Son on yılda ise cam ambalaj endüstrisinde verimliliği ve hızı arttırmak üzere daha büyük kapasiteli şekillendirme makineleri ihtiyacı ortaya çıkmıştır [22].

Üretim proseslerinin geliştirilmesi ihtiyacı, yeni Avrupa birliği (EU) makine güvenlik düzenlemeleri ve UNI-EN-ISO 9000 kalite standardı, makine kullanımında bireysel kararlara gerek duymayan tamamıyla otomatikleşmiş üretim sistemlerinin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Bu nedenle makine imalatçıları, kısmi otomasyona sahip mekanik teknolojinin limitlerini ortadan kaldırma ve makine kullanımında insan faktörünü minimum seviyeye indirme gereğini duymuşlardır. Bu çalışmalar neticesinde I.S makinelerinde de otomatik kontrol (servo-control) mekanizmaları kullanılmaya başlanmıştır [23].

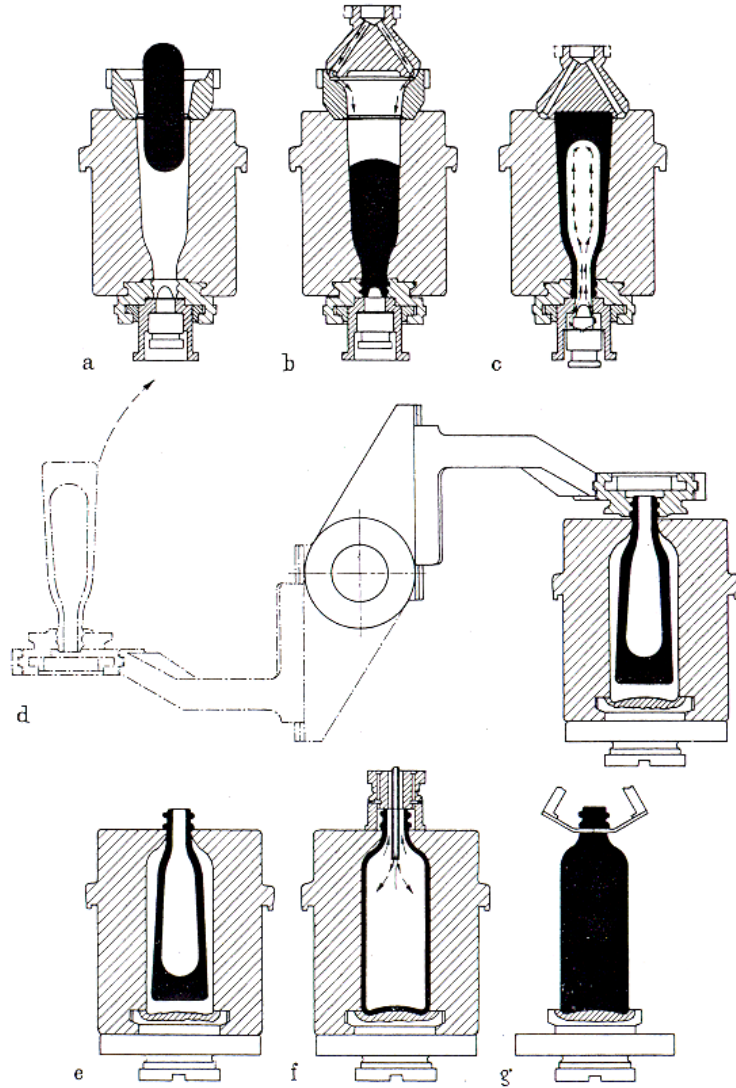
4.3.3 – Cam Ambalaj Şekillendirme Prosesleri

I.S. makinelerine iletilen cam damlasının şekillendirilmesi, üretilen ürünün dar ağızlı veya geniş ağızlı olmasına göre, üfleme-üfleme veya pres-üfleme yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır. Son yıllarda geliştirilen bir diğer yöntem ise, dar ağızlı ürünlerin şekillendirilmesinde de kullanılabilen dar boyunlu pres-üfleme (NNPB-Narrow Neck Press Blow) yöntemidir [6].

4.3.3.1- Üfleme – Üfleme Prosesi

Üfleme-üfleme prosesinde kullanılan kalıp parçalarını; **Ebişör** (ön kalıp, hazırlayıcı kalıp parçası), **Tampon** (birinci görevi, yerleştirme havasını vermek, ikinci görevi parizonun dibini yapmaktır.), **Müldebak** (kafa yapıcı kalıp parçası), **Ring** (ürünün ağız yüzeyini yapar), **Mandren** (ağız delici kalıp parçasıdır.), **Kovan** (mandrene yataklık eder.), **Süflaj başlığı** (parizonu şişirip finişörün şeklini alması için gerekli havayı vermeye yarar.), **Finişör** (tamamlayıcı kalıp parçasıdır.), **Alıcı maşa** (şişeleri kalıbın içerisinden almaya yarar.) [6].

Dar ağızlı bir cam ambalajın, üfleme-üfleme yöntemi ile şekillendirilmesi Şekil 4.7’de şematik olarak gösterilmektedir. İlk olarak besleyicide oluşturulan cam damlası, besleyicinin altındaki kepçe vasıtasıyla yönlendirilerek, ebişör kalıbının içine girmektedir. Ebişör kalıbının içine merkezlenerek giren damla, a) kısa bir itme havası verilerek ebişörün alt kısmına doğru yerleştirilir. b) yerleştirme havası ile damla ebişörün alt kısmına oturduktan sonra, tampon kapanır ve yeterli basınçta hava üflenerek şişenin kafası oluşturulur.



Şekil 4.7: Üfleme – üfleme prosesiyle cam ambalajın şekillendirilmesi [7].

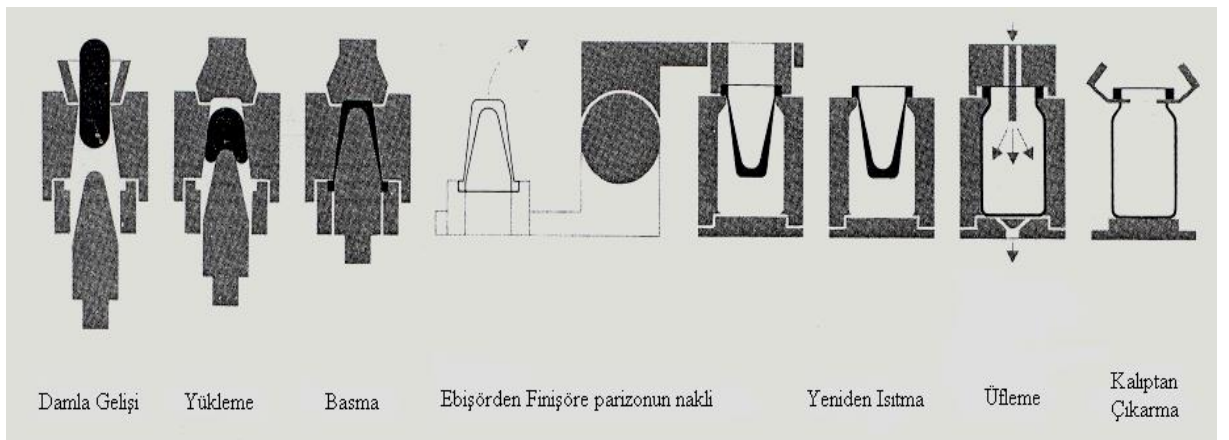
Burada üflenecek olan havanın basıncı ve üfleme süresi şişenin boyutlarına ve ağırlığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. c) ring kalıbının merkezinde, içeri doğru şişe ağzının kapalı kalmamasını sağlayan bir mandren bulunur. Mandren'in çapı; şişe ağzının iç çapı ve kafanın et kalınlığını belirler. Daha sonra mandren geri çekilir ve basınçlı hava camı tampona karşı geriye doğru şişirir. Ebişör kalıbının iç boşluğu parizon adı verilen mamulün ön (taslak) şeklini oluşturur. d) cam ebişörün şeklini aldıktan sonra hava kesilir ve ebişör kalıbı açılır. Kalıp açıldığında müldebak, parizonu kafasından tutmaktadır. Müldebakların bağlı olduğu kollar çevirme mekanizması aracılığıyla 180^0 çevrilerek parizonu ebişör tarafından finişör tarafına geçirir.

Ebişör tarafında ters konumda duran parizon, finişör tarafına geçince kafa kısmı yukarı gelir. e) finişör kapanır kapanmaz müldebak açılır ve parizonu finişöre bırakır. Bundan sonra süflaj başlığı finişörün üzerine oturur ve süflaj havası üflenerek parizon, ürünün son şekli olan finişör iç formunun şeklini alır. Bu sırada üfleme süresi ve hava basıncı şişenin boyut ve ağırlığına göre ayarlanmaktadır. f) Ürün son şeklini aldıktan sonra finişör kalıbı açılır ve şişe, maşalar vasıtasıyla delikli plaka üzerine yerleştirilir. g) son kademedede ise şişe kollar vasıtasıyla konveyörün üzerine itilir ve buradan tavlama fırınına nakledilir [6,17].

4.3.3.2 – Pres - Üfleme Prosesi

Pres-üfleme prosesinde göbek mekanizmasına bağlı olarak çalışan kalıp parçası, mandren yerine mastordur. Mastorun dış profili, oluşturulacak parizonun iç profilinin aynısıdır. Dolayısıyla presleme işlemi tamamlandığında mastorla kalıp arasında kalan hacim parizonun şeklini oluşturmaktadır. Şekil 4.8’de geniş ağızlı bir ürünün pres-üfleme yöntemiyle şekillendirilmesi şematik olarak gösterilmektedir.

Bu yöntemde de ilk olarak besleyiciden gelen cam damlası huniden geçerek ebişörün içine düşmektedir. Damla düştükten sonra huni kalkar ve tampon ebişörün üzerine oturur. Mastorun basma hareketi tampon oturduktan sonra başlar ve cam, kalıp içinde kalan boşluğu dolduracak şekilde sıkıştırılır. Presleme işlemi tamamlandığında parizon ve kafası oluşmuştur. Bundan sonra mastor en alt pozisyona kadar aşağıya iner ve tampon kalkar.



Şekil 4.8: Pres – üfleme prosesiyle cam ambalajın şekillendirilmesi [22].

Sonraki aşamada ise üfleme-üfleme prosesinde olduğu gibi ebişör açılır ve müldebakları tutan kollar, çevirme mekanizması vasıtasıyla 180° çevrilerek, parizonu ebişör tarafından finişör tarafına geçirirler. Finişöre bırakılan parizon üfleme işleminden önce yeniden ısıtılır. Daha sonra üfleme havası verilerek parizonun finişörün iç formunun şeklini alması sağlanır. Parizon son ürünün şeklini aldıktan sonra finişör açılır ve mamul alıcı maşalar yardımıyla delikli plaka üzerine oradan da konveyör vasıtasıyla tavlama fırınına nakledilir [6, 22].

4.3.3.3 – Dar Boyunlu Ürünler için Pres – Üfleme Prosesi (NNPB)

Dar ağzlı ürünlerin şekillendirilmesinde de kullanılan pres-üfleme yöntemi, I.S. makinelerinde son yıllarda geliştirilmiş olan bir tekniktir. Pres-üfleme yöntemiyle şekillendirilen üründe, homojen cam dağılımı sağlanması nedeniyle mamulün dayanıklılığı artmakta böylece ürünün gramajının azaltılması ve üretim hızının artırılması mümkün olabilmektedir. Bu şekillendirme yöntemi de prensip olarak geniş ağzlı ürünler için kullanılan pres-üfleme tekniği ile aynı olmakla beraber, dar ağzlı ürünlerde şekillendirme toleransları daha hassastır. Dar boyunlu ürünlerin pres-üfleme yöntemi ile şekillendirilmesinde kullanılan mastorun çapı daha dardır. Bu yöntem Şekil 4.9’da şematik olarak gösterilmektedir.



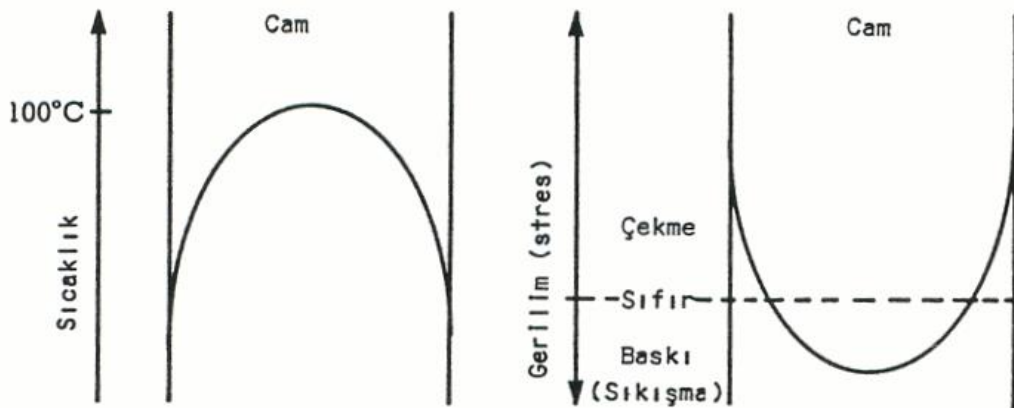
Şekil 4.9: Dar ağzlı cam ambalajın pres – üfleme prosesiyle şekillendirilmesi [22].

Şekilden de görüldüğü gibi dar ağzlı ürünlerin pres – üfleme yöntemi ile şekillendirilmesinde de, geniş ağzlı ürünlerde olduğu gibi damla düşerken mastor yüklemeye pozisyonunda beklemekte ve damla düştükten sonra tampon ebişörün üzerini kapamaktadır. Tampon oturur oturmaz mastorun presleme hareketi başlar.

Presleme işlemi sonunda parizon oluşmuş ve ürünün kafası nihai şeklini almıştır. Mastor en alt pozisyonuna iner ve ebişör açılır. Parizonun kafasını tutmakta olan müldebak, çevirici mekanizma vasıtasıyla 180° çevrilerek parizonu finişör kalıbına bırakır. Bundan sonraki aşamada ise üfleme-üfleme yönteminde olduğu gibi yeterli basınç ve süreyle hava üflenerek ürünün, son şekli olan finişör iç formunun şeklini alması sağlanır. Şekillendirme işlemi tamamlanan dar ağızlı ürün, alıcı maşalar tarafından alınıp tavlama fırınına iletilmek üzere konveyör bandın üzerine bırakılır [6, 22].

4.4 – Tavlama Prosesi

Cam, sıcak ve akışkan olduğunda şekillendirilir, ancak soğuk ve sert olduğunda kullanılabilir. Bu nedenle üretilen bir cam mamulün oda sıcaklığına soğutulması gerekmektedir. Cam, gevrek karakterli, yalnız elastik deformasyon gösteren ve ısınırken genişleyen soğurken de büzülen bir malzemedir. Eğer soğutma işlemi kontrollü yapılmazsa camın yapısında bu kritik özellikleri nedeniyle gerilimler oluşur ve bu gerilimler camda kırılma şeklinde hatalar görülmesine neden olur. Bir cam mamul soğumaya başladığında dış cidarları iç cidarlarından daha çabuk soğumaktadır. Sonuçta ortaya çıkan sıcaklık ve gerilim profili Şekil 4.10'da gösterildiği gibi olmaktadır.



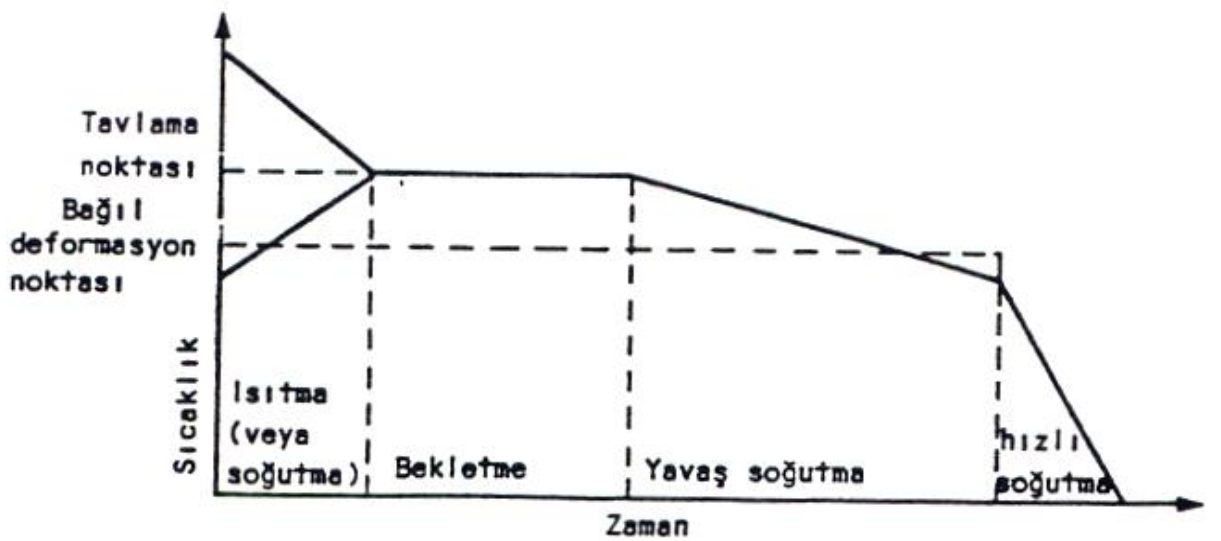
Şekil 4.10: Soğuma esnasında cam kesitinde sıcaklık ve gerilim profilleri [12]

Soğuma hızında artış, daha büyük sıcaklık farkına ve daha fazla gerilimlerin oluşmasına neden olur. Özellikle dış taraftaki çekme gerilimi, kırılmaya neden olacak yeterli büyüklükte olabilir [12].

Cam ambalajın soğutulması esnasında uygulanan tavlama rejimi, cam kompozisyonuna, şekline ve boyutlarına bağlı olarak belirlenmektedir. Burada önemli olan her tip camın ısıtılması gereken sıcaklık seviyesinin, bu sıcaklık seviyesinde ne kadar kalacağını ve soğutma işleminin nasıl yapılacağını belirlenmesidir [22].

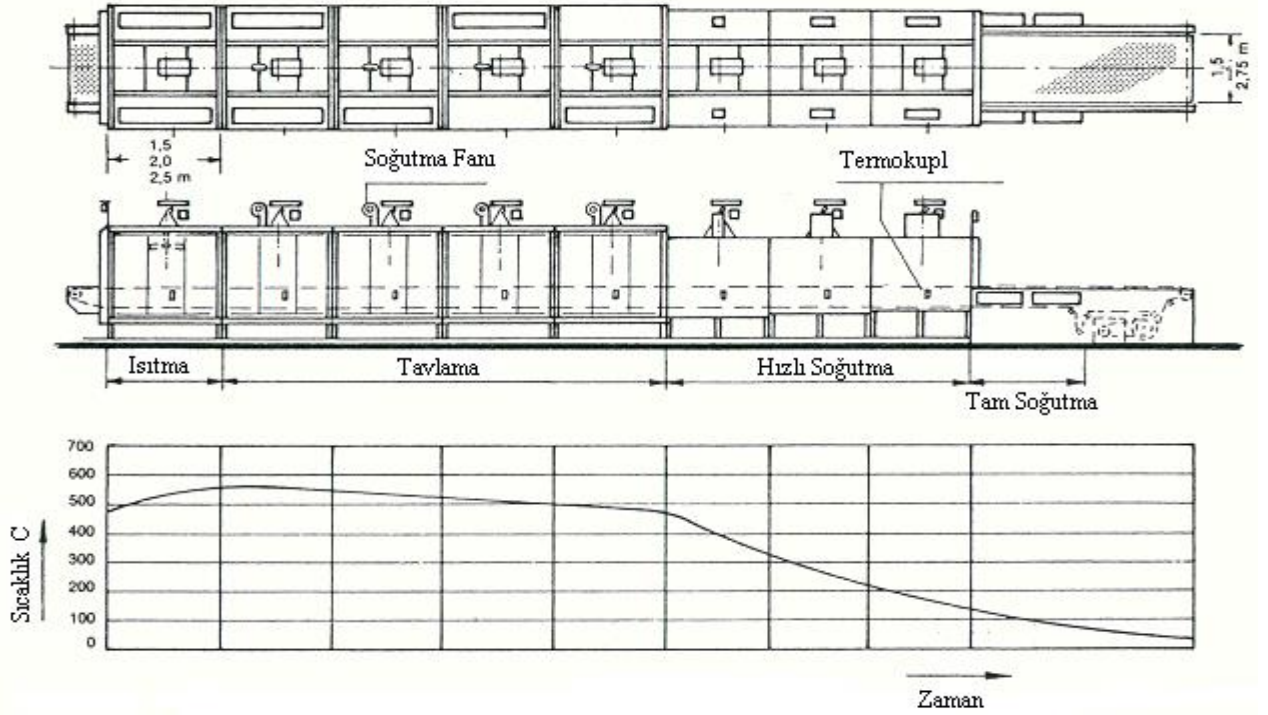
Tavlama işlemi sırasında kritik sıcaklık, cam yapısındaki gerilimlerin, camda herhangi bir deformasyona neden olmadan giderildiği sıcaklıktır. Endüstriyel uygulamalar açısından bakıldığında cam üretiminde önemli olan cam mamulün, mümkün olduğunca kısa sürede yeterli seviyede tavllanması ve çok yavaş bir hızda soğutulmasıdır [22].

Cam, gerilimlerin kaybolduğu bir sıcaklığa kadar ısıtılır ve sonra gerilimler kayboluncaya kadar bu sıcaklıkta belli bir süre bekletilir. Tavlama işlemi tamamlandığında camın bünyesinde kalabilecek gerilimlerin kabul edilebilir bir seviyede olabilmesi için Şekil 4.11’de de görülen tavlama rejimi uygulanarak gerilimler giderilinceye kadar yavaş soğutma yapılır. Kritik nokta geçildikten sonra hızlı soğutma yapılarak cam mamul oda sıcaklığına kadar soğutulur [12].



Şekil 4.11: Tipik bir Tavlama Rejimi Grafiği [12].

Tavlama rejiminin gereksinimlerini karşılayarak gerilimlerin giderilmesini sağlamak amacıyla tavlama fırınları zonlara bölünmekte ve soğutma işlemi kademeli olarak yapılmaktadır. Tavlama fırınlarının tasarımında, kolay kontrol edilebilmesi, tavlama işleminin sade olması, fırın boyunca sıcaklık dağılımının homojen olması ve ekonomik yakıt tüketimine sahip olmaları dikkat edilen esas noktalaradır. Şekil 4.12’de tipik bir tavlama fırınının kesiti ve sıcaklık profili görülmektedir.



Şekil 4.12: Cam ambalaj için tipik tavlama fırını ve sıcaklık profili [22].

Tavlama fırınının soğuk tarafından sıcak tarafına doğru hava hareketinin olması cam ambalajın soğutulmasına yardımcı olurken enerji kullanımının da ekonomik olmasına katkı sağlamaktadır. Tavlama fırınında bulunan sürekli metal konveyör vasıtasıyla cam ambalajlar fırının içinde soğuk tarafa doğru hareket etmektedir. Cam ambalaj ürünlerin tavlama fırını içindeki optimum ilerleme hızı, bir başka deyişle konveyör bandın dönme hızı 0,1 – 0,5 m/s olarak ölçülmüştür. Fırının her hangi bir şekilde durması halinde, konveyör bant ilerlemeyeceği için fırının sıcak zonundaki mamuller gereğinden fazla ısınacak ve daha sonra fırının kontrolsüz soğuması nedeniyle cam ambalaj ürünlerde kalıcı gerilimler oluşacaktır. Bu nedenle tavlama fırınında uygulanan soğutma hızı, yada bandın ilerleme hızı uygulanan tavlama rejiminin verimliliği açısından son derece önemlidir [22].

4.5 – Yüzey Kaplama İşlemleri

Cam ambalaj üretiminde camın yüzey özellikleri değiştirilerek veya yüzeyine kaplama yapılarak, kullanım performansı geliştirilmeye ve dolum hatlarında meydana gelebilecek olası problemler önlenmeye çalışılır. Ayrıca cam ambalajın kimyasal kararlılığını geliştirmek içinde yüzey kaplama işlemleri uygulanmaktadır [22].

Cam, plastik ve metal gibi alternatif diğer ambalajlar ile karşılaştırıldığında kimyasal dayanımı en yüksek malzemedir. Ancak, gerek kendi iç yapısındaki özellikleri ve gerekse içinde bulunduğu çevresel ve fiziksel faktörlerin etkisiyle muhafaza ettiği ürün ile kısmen etkileşim içerisinde olabilmektedir.

Sınai kap üretiminde kullanılan soda-kireç camında, difüzyon esaslı korozyon mekanizması, cam yüzeyinin asidik ve nötr çözeltilerle teması sırasında ortaya çıkan hidrojen (H^+) iyonları ve su moleküllerinin, camın ağ yapısına girerek sodyum (Na^+) iyonları ile yer değiştirmesiyle oluşmaktadır. Alkali ortamda ise korozyon; hidroksil (OH^-) iyonlarının Si-O-Si bağları üzerindeki etkisi ile meydana gelmektedir [24].

Camın kimyasal, mekanik ve aşınma direncini arttırmak için uygulanan çeşitli yüzey kaplama işlemleri bulunmaktadır.

Sülfatlama: Cam ambalajın mukavemetini geliştirmek için uygulanan ilk yüzey işlemlerinden biri sülfatlama işlemidir. Bu proses, cam yüzeyinin kükürt dioksit buharı ile etkileşimi esasına dayanır. Kükürt dioksit gazı, sodyum oksit ile reaksiyona girerek cam yüzeyinde, kükürt çiçeklenmesi olarak ifade edilen dumansı bir görünüm yaratır. Pratik olarak sülfatlama işlemi, mamul tavlama fırınına girmeden önce içine toz veya tablet halinde amonyum sülfat konularak yapılır [12]. Sülfatlama işlemi ayrıca cam ambalajda normal seviyede kayganlık ve koruma da sağlamaktadır [22].

Silikon Kaplama: Silikon kaplama özellikle cama iyi bir kayganlık ve çizilme direnci sağlarken, suda çözünmemesi nedeniyle arındırma ve yıkama işlemleri sırasında probleme neden olmamaktadır. Ayrıca silikon kaplanmış cam ambalajlar, üretim hattında ilerlerken daha az oranda sıkışmalara neden olur.

Ancak silikon kaplama alkalilere karşı dayanıklı olmadığından, özellikle kimyasal temizleme işlemine maruz kalan geri dönüşümlü cam ambalajlara uygulanması mümkün değildir [22].

Stearat (stearik asit tuzu) Kaplama: Bu tür kaplama cama yüksek seviyede kayganlık kazandırırken sürtünme katsayısını da çok düşürmektedir. Ayrıca stearat kaplama camın parlaklığını arttırmakta ve daha şeffaf bir görünüm almasını sağlamaktadır. Ancak, stearat kaplama pişirme işlemi esnasında tahrip olduğundan bu tür kaplamanın, cam ambalaj üzerindeki renkli baskının pişirilmesi işleminden sonra tekrar uygulanması gerekmektedir [22].

Sıcak Kaplama: Günümüzde, geri dönüşümlü şişelerin, dolum hatlarının yüksek hızına ve geri dönüşüm işlemlerine uyum sağlayabilmeleri ve performanslarını arttırmak amacıyla cam ambalaja uygulanan bir diğer yüzey işlemi de sıcak kaplamadır. Sıcak kaplama, genellikle cam şişelere, şekillendirme makinesi ile tavlama fırını arasında uygulanır. Uygulama metodu, bir tünel veya davlumbaz altında şişelere kaplama maddesinin püskürtülmesi veya kaplama malzemesinin buharı ile muamele edilmesi şeklindedir. Sıcak kaplama işleminde genellikle kalay ve titanyum esaslı kaplama malzemeleri kullanılmaktadır. Sıcak kaplamanın şişe performansında sağladığı gelişim sayesinde daha hafif cam ambalajlar üretilmiştir. Cidar kalınlıkları daha ince olmasına rağmen hafifletilmiş ürünlerin performansı, hafifletilmemiş ve sıcak kaplama yapılmamış ürünlere eşdeğer olabilmektedir [12].

Soğuk Kaplama: Soğuk kaplama işlemi genellikle soğutma işlemi sonrası cam ambalaj tavlama fırınından çıktıktan sonra yapılmaktadır. Soğuk kaplama uygulanmasının amacı şişe ve kavanozlarda aşınmaya karşı direnç sağlamaktır. Soğuk kaplama malzemesi olarak genellikle polietilen esaslı malzemeler kullanılmaktadır. Soğuk kaplama işlemi, şişe ve kavanozların yüzeyine kaplama malzemesinin püskürtülmesi veya kaplama malzemesinin buharıyla muamele edilmeleri şeklinde uygulanmaktadır. Soğuk kaplamalar sıcak kaplamalar kadar dayanıklı değildirler [12].

4.6 – Kalite Kontrol Prosesi

Şişe ve sıai cam kapların üretimi esnasında, üretim hattı sonunda hatalı ürünlerin ayrılması; üründe kalite tutarlılığının korunması ve kalitenin garanti altına alınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Sıai üretimde kalite; mamulün bir sonraki üretim aşamasında veya tüketici tarafından belirlenen ve onun gereksinimlerini karşılamayı hedefleyen karakterlerin bileşimi olarak tanımlanmaktadır.

Ambalaj malzemesi olarak camın, barındıracağı ürüne, nihai kullanım şekline ve ambalajlama işlemi (dolum) koşullarına uygun olması gerekmektedir. Bu koşulların gerektirdiği fiziksel ve kimyasal özellikler mamulün kalite seviyesini tanımlamaktadır. Üretimde bu seviyenin, öncelikle oluşturulması, sürekliliğinin sağlanması ve kontrol altında tutulması gerekmektedir. Mamulün talep edilen özelliklerinden uzaklaşan karakterlerinin her biri “hata” olarak tanımlanmaktadır.

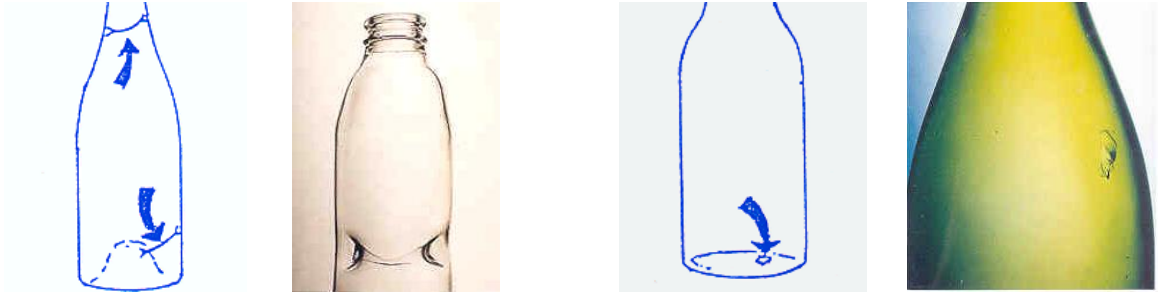
4.6.1 – Cam Ambalajda Görülen Hata Türleri

Mamulün kullanımı üzerinde yaptığı etkiler açısından cam ambalajda görülen hataları üç ana başlık altında toplamak mümkündür.

4.6.1.1 – Kritik Hatalar

Mamulü kullanana ve/veya bir sonraki üretim aşamasına zarar veren hatalardır. Bu tür hatalar gözle tespit edilirler. Belli başlı kritik hatalar aşağıda belirtilmiştir. Şekil 4.13’te bazı kritik cam hataları şematik olarak gösterilmektedir.

- Şekil Bozukluğu: Teknik resim ölçü toleranslarından ± 3 mm farklılık gösteren hatalardır. Gözle rahatlıkla tespit edilebildiği gibi, geçmez masterları ile de kontrol edilirler.
- Dar Boyun: Boyun bölgesi iç kısmında cam yığılması nedeniyle dolumu engelleyen hatalardır. Ağız ve boyun iç masterları ile tespit edilirler.
- Salıncak: Cam ambalajın iç cidarlarını karşılıklı birleştiren cam uzantılarıdır. Genellikle besleyicide cam sıcaklığının çok fazla olması, ebişör soğutma havasının yetersiz olması, mandren deliklerinin bazılarının tıkalı olması gibi etkenler cam ambalajda bu tür hatalara neden olmaktadır.



Salıncak

Cam Parçası



Şekil Bozukluğu

Şekil 4.13: Cam ambalajda görülen kritik hata örnekleri.

- İçeride Cam Çıkıntısı: Cam ambalajların iç yüzeylerinde kırılabilir cam uzantılarıdır. Ağız üzerinden taşmış kalıp izi, dipte cam çıkıntısı, içeride yapışık cam parçası gibi hatalar örnek olarak verilebilir. Mastör ucunun çok sıcak olması, mastör adaptörünün gevşek olması gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır.
- İçeride Cam Tozu ve Kırıklar: Cam ambalajların içinde serbest halde bulunan cam tozu ve kırıklardır Mastörün kirlenmiş olması, müldefon yüksekliğinin iyi ayarlanmaması bu tür hatalara neden olabilmektedir..
- Kurumlu Cam: Cam ambalajın içinde grafit çöküntüleridir [6]

4.6.1.2 – Fonksiyonel Hatalar

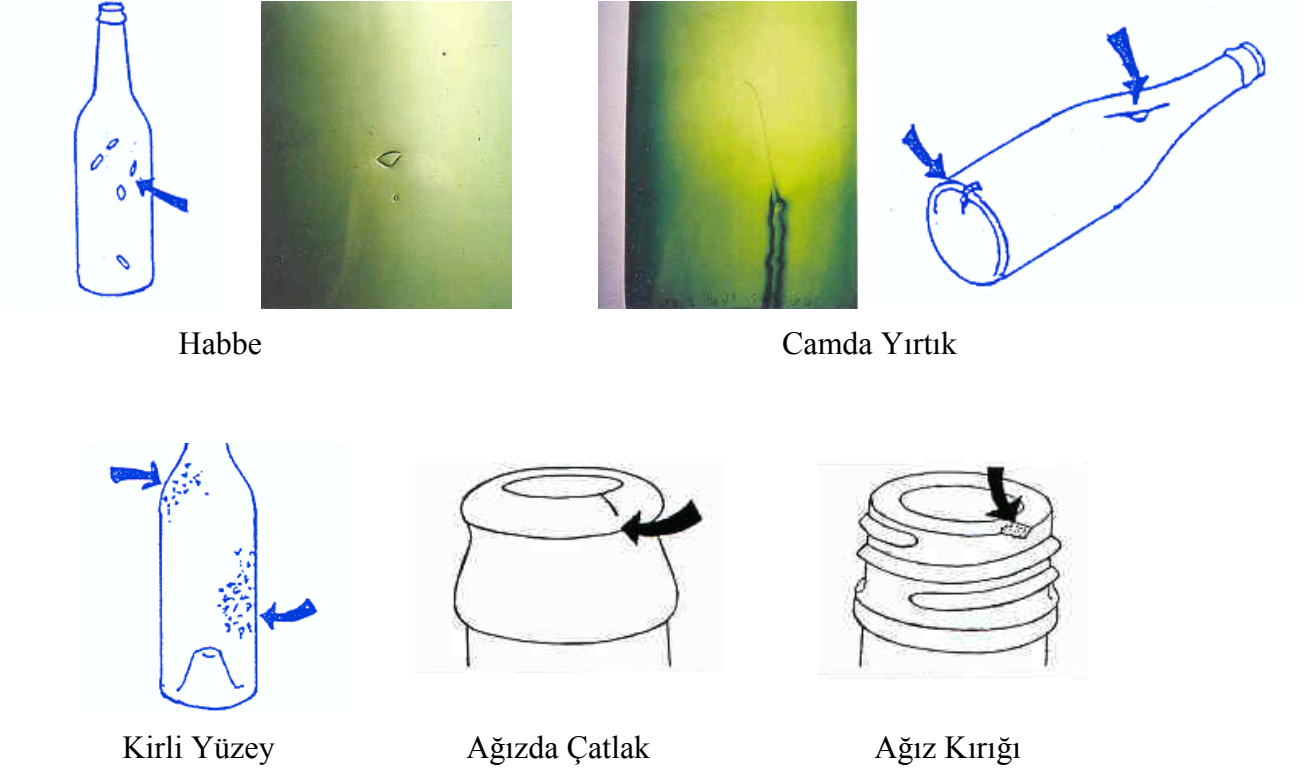
Mamulü kullanılmaz duruma getiren büyük hatalardır. Belli başlı fonksiyonel hatalar aşağıda sıralanmaktadır.

- Yükseklik: H= yükseklik (mm), TH= yükseklik toleransı (mm) olmak üzere, TH= $\pm (0,6 + 0,004H)$ formülü ile normalize edilmiştir. Hat başı kontrollerde yükseklik masterları ve kumpasla kontrol edilir.
- Eğrilik: Gövde ve kafa eğriliği olarak ikiye ayrılır. Gövde eğriliği; ürünün kafa üst kenarının dikey ekseninden sapma miktarıdır. Kafa eğriliği ise; ürünün ağız yüzeyi ile taban yüzeyi arasındaki paralellikten sapma miktarıdır.
- Gövde Çap Ölçüleri ve Ovallikleri: Gövde çapının minimum ve maksimum ölçüleri arasındaki fark ovallik olarak tanımlanır. Geçer geçmez çap masterları ile kontrol edilir.
- Kafa Ölçüleri: Teknik resimle detaylandırılmış standart kafa ölçüleridir. Kafa yüksekliği, bilezik çapı, dış üstü çapı, ağız içi çapı gibi tüm ölçüler kafa ölçüleri arasında sayılmaktadır.
- Ağız Üstü Düzgünlüğü: Kavanoz ağız düzlemi üzerinde 180° döndürüldüğünde belli bir sabit alet üzerinden alınan değişim miktarıdır. Ağız üzerindeki göçme miktarını belirlemektedir. Hat kontrolünde 0,01 mm hassasiyetinde komparatörlü aparat ile kontrol edilir.
- Ağırlık – Hacim: Ağırlık, ürünün boş olarak terazide tartımı suretiyle elde edilen gr. olarak değeridir. Hacim ise 20 °C'deki cmⁿ olarak elde edilen iç basınç hacmidir. Teknik resimde belirtilen değerler dışındaki ağırlık ve hacim hata olarak kabul edilir.
- Anormal Cam Dağılımı: Tabana paralel yatay bir kesit üzerindeki cam kalınlıklarının oranı ile belirlenir. Geri dönüşlü cam ambalajlarda limit oran 1/2,5 geri dönüşlü olmayan ile yuvarlak olmayanlarda 1/3 olarak belirlenmiştir.
- İnce Cidar: Ürünün gövdesi üzerinde istenen minimum değerlerin altındaki cam kalınlığıdır. Geri dönüşlülerde minimum cidar kalınlığı teorik cam kalınlığının % 60'ı, geri dönüşsüzlerde ise % 40'dır.

- Habbe: Cam içindeki 1 mm' den büyük hava kabarcıklarına habbe denir. Patlamış veya yüzeysel olabilecek habbeler hat kontrolünde değerlendirilir. Üzerinde 3 mm' den büyük habbe bulunan ürün hatalı olarak kaydedilir. Patlamış habbelerde boyuta bakılmaksızın hata olarak kabul edilir.
- Habbecik: Cam içinde 1 mm' den küçük gaz kabarcıklarına habbecik denir. Habbecik miktarı her 8 saatte iki defa habbe sayım cihazında tespit edilir.
- İç Basınç Mukavemeti: Cam ambalajın, içine su doldurularak ağızdan bir dakika süre ile tatbik edilen iç basınca karşı gösterdiği kırılma direnci iç basınç mukavemetini ortaya koymaktadır. Kontrol test değerleri ürünlerin karbonasyon seviyelerine ve geri dönüşlü yada geri dönüşsüz oluşuna göre belirlenir.
- Dik Yük Mukavemeti: Ürünün dikey yüklere karşı gösterdiği dirençtir. Geniş ağızlı sınav ürünlerde limit; 200 kgf., Gazlı ürünlerde ise, geri dönüşlüler için limit; 600 kgf. iken geri dönüşsüzlerde 400 kgf.'dir.
- Darbe Mukavemeti: Darbe kontrolü, preston tipi darbe kontrol cihazı ile yapılır. Şişeler ve kavanozlar için belirlenen limit değerlerine uygunluk kontrol edilir.
- Termik Şok Mukavemeti: Ürünün ani sıcaklık değişimine karşı göstermiş olduğu dirençtir. Sterilize edilmeyen cam ambalajlar için limit değer; 42 °C, sterilize edilen cam ambalajlar için ise, 50 °C'dir.
- Tansiyon: Cam ambalajların bağlı iç gerilimidir. Camın iç gerilimine bağlı olarak tabana gelen polarize ışığın gecikmesi esasına göre oluşan renklerin standart diskler ile karşılaştırılması suretiyle kontrol yapılır [6].

Cam ambalajda rastlanılan diğer bazı fonksiyonel hataları da şu şekilde sıralamak mümkündür. Ağızda dikey çatlak, ağız kırığı, yırtık cam, kafada kalıp izi, dip çatlağı, gövde çatlağı, taş (> 1,6 mm), kirli ağız v.b. gibi.

Şekil 4.14'te bazı fonksiyonel hatalar şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.14: Cam ambalajda görülen fonksiyonel hata örnekleri.

4.6.1.3 – Görünüm Hataları

Genellikle refrakter veya harmanda bulunan empürite kaynaklı hatalar olup mamulün görünümü dışında kullanımını önemli ölçüde etkilemezler. Belli başlı görünüm hataları; ince çatlaklar, damar, dalgalı görünüş, gövdede tampon izi, küçük taşlar, kirli yüzey şeklinde sıralanmaktadır.

Buraya kadar bahsedilen tüm hatalar, prodesteki çeşitli aksamalardan kaynaklanan, prosesin amacına aykırı olarak ortaya çıkan olgulardır. Ancak hiçbir zaman tamamen ortadan kaldırılamazlar. Bu nedenle üretim süreci boyunca hata oluşumunun takibi ve değerlendirilmesi paralelinde hatalı mamullerin ayrılarak kullanıcıya intikalinin önlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla üretimde soğutma sonrası hat üstü kontrolleri yapılırken laboratuarda da belli başlı hatalar için çeşitli testler uygulanmaktadır. Böylece cam ambalaj üretimi sürekli kontrol altında tutularak hatalı ürün sayısının azaltılması yönünde çalışmalar yapılmakta ve hatalı ürünlerin kullanıcıya ulaşması engellenmektedir [6, 25].

4.6.2 – Cam Ambalaj Kalite Kontrol Sistemleri

Cam ambalaj kalite kontrol sistemleri üç gruba ayrılmaktadır:

4.6.2.1 - Hat Üstü Görsel Kalite Kontrol

Üretim makinesinde şekillenen mamulde hata analizi ve ayırımın yapılabileceği en uygun bölge tavlama fırını sonu ile paketleme hattı arasındır. Paketlemenin elle yapıldığı durumlarda hatalı mamul paketleme aşamasında ayırma tabi tutulabilir. Ancak bu şekilde ayırma, paketleme operatörü başına 30 şişe/dakika hızın üzerinde etkili olamamaktadır [25].

1960'lara kadar sadece görsel kontrol sistemleri kullanılmaktaydı. Üretim hızlarının artması ve çeşitli otomatik kontrol sistemlerinin geliştirilmesi ile görsel kontrol sistemlerinin kullanımı azalmıştır. Ancak otomatik kontrol sistemlerinin bütün kritik hataları tespit edememesi nedeniyle, otomatik kontrol hatlarında görsel bir kontrol istasyonunun bulunması da kalite güvencesi açısından uygun olmaktadır [22].

Geleneksel tavlama sonu kalite kontrol sisteminde, soğutma sonrasında belli sayıda cam ambalaj mamulü operatör tarafından hattan alınmaktadır. Operatör topladığı mamulleri uygun ışık kaynağına karşı 360° döndürerek mamul üzerindeki belli başlı kritik ve fonksiyonel hataları kontrol etmektedir. Hatalı ürünler operatör tarafından geri dönüştürülmek üzere cam kırığı tesislerine gönderilmektedir [22].

Bir sonraki otomasyon aşamasında mamul soğutma sonunda tek sıralı konveyöre aktarıldığında, ayırma işlemi bu konuda eğitilmiş bir operatör vasıtasıyla 75 – 100 şişe/dakika hızla yapılabilmektedir. Geleneksel soğutma sonu ayırım sistemine alternatif olarak geliştirilen bu sistemde; cam ambalaj mamulü, soğutma sonundaki banttan titreşimli bir transfer sistemi aracılığıyla tek sıralı hatta geçirilmektedir. Tek sıralı konveyör hattının üzerine görsel kontrol istasyonu monte edilmiştir [22, 25].

Bahsedilen her iki yöntemde de mamulde sadece görsel kontrol gerçekleştirilmekte, ölçme ve mekanik mukavemete dayalı hiçbir muayene yapılmamaktadır. Yüksek hızlarda üretim yapan hatlarda tüketicinin kalite talebini karşılamayı teminat altına alacak ayırma işlemi ise ancak otomatik kalite kontrol sistemleri ile yapılabilmektedir [25].

4.6.2.2 - Hat Üstü Otomatik Kalite Kontrol

Otomatik kontrol cihazları, hatayı en iyi tanımlayan fiziksel özelliğini, mekanik, elektronik veya optik ölçümler yolu ile belirleyen ve hatalı mamulü ayıran makinelerdir. Otomatik kontrol cihazlarının uygulama alanlarını dört ana grupta toplamak mümkün olmaktadır [25]. Bunlar;

- 1- Ölçme ve ayar makineleri.
- 2- Belirli hataların tespitinde kullanılan makineler.
- 3- Baskı test makineleri
- 4- İstatistiki kalite kontrol.

Otomatik kontrol sistemlerinin bu dört uygulama alanı ve bu uygulamalarda kullanılan ekipmanlar Tablo 4.1’de gösterilmektedir.

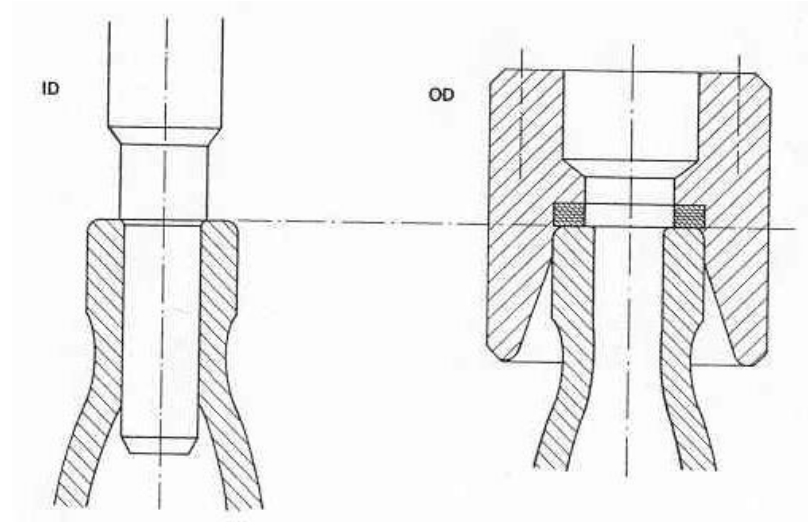
Otomatik kontrol ekipmanlarının cam ambalaj üretim hattına yerleştirilmesinin esas nedeni, daha yüksek ve daha tutarlı kalite kontrole imkan vermelerinin dışında maliyetleri de düşürüyor olmalarıdır.

Tablo 4.1: Cam ambalaj kalite kontrol kriterleri

<u>1. Ölçüm ve Ayar Makineleri</u> 1.1 İlk Seçici (Preselector) 1.2 Ağız iç-dış master kontrolü 1.3 Ağız boyut kontrolü 1.4 Cidar kalınlığı ölçümü 1.5 Master boyutları	<u>Kontrol Fonksiyonu</u> Yükseklik, Çap, Dikeylik İç çap, ağız dış çapı, Yükseklik Ağızda eğrilik, boyun eğimi, Yükseklik Bir veya daha fazla noktadan cidar kalınlığı. Yükseklik,
<u>2. Belirli Hataların Kontrolü</u> 2.1 Çatlak Kontrolü 2.2 Taş ve kalıntı madde 2.3 Çentik algılayıcı 2.4 Zayıf leke algılayıcı	Mamulün, ağız, boyun, gövde, topuk ve taban kısmında bulunan çatlaklar. Taşlar ve metal Çentikler, salıncak, serbest ve ergimiş cam parçaları. Zayıf lekeler.
<u>3. Basınç Test Ekipmanları</u> 3.1 Darbe test cihazı 3.2 Dikey yük ve iç basınç testi	Taşlar, boyun, gövde ve topuktaki çatlaklar. Boyun, gövde ve topuktaki çatlaklar, cam dağılımı, taşlar ve cam parçaları.
<u>4. İstatistiki Kalite Kontrolü</u> 4.1 Boyutlar 4.2 Termal Şok 4.3 Gerilim Analizi 4.4 Darbe Testi 4.5 Cam Dağılımı	Boyutsal dağılım Cam bileşimi, tavlama Tavlama işlemi Tavlama, ince tabaka Kalıp dizaynıyla bağlantılı cam dağılımı ve işlem sıcaklığı.

Mastarlama ve Ölçüm Sistemleri

Mamulün çeşitli boyutsal ve fonksiyonel özelliklerini mekanik ve optik olarak inceler. Başlıca boyun, sızdırmazlık, ovallik hataları, kafa mastarlama, eğrilik, ağız iç - dış çapı ve tolerans dışı ölçülerin kontrolü yapılmaktadır. Şekil 4.15'te ağız iç ve dış masterlar ile çap ölçümü görülmektedir.



Şekil 4.15: Cam ambalaj ağız iç – dış masterları [22].

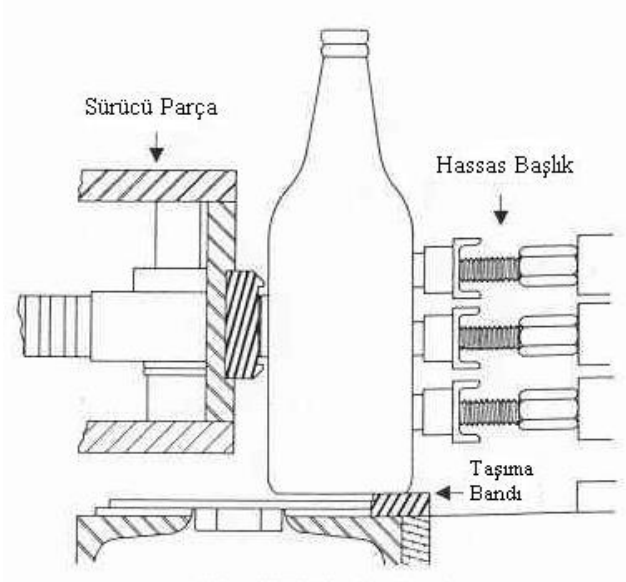
Cam ambalaj ürünlerin iç ve dış kafa çaplarını ölçen otomatik master cihazında tek kafa yerine iki kafada kullanılabilmektedir. Bu kafalardan biri geçer geçmez masterları ile mamulün iç – dış kafa çapını ölçerken diğer kafa ağız sızdırmazlık kontrolü yapmakta ve ağız yüzeyindeki eğrilik ve çukurluk gibi hataları tespit etmektedir [22].

Cam ambalaj mamullerin kafa iç çapı, dolum hatlarında dolum işlemini yapan kolun şişenin ağzından girebilmesi için önem arz ederken, dış çapta şişe kapağının herhangi bir sızıntıya neden olmayacak şekilde şişe ağzına oturabilmesi açısından önemlidir. Yüksek hızla çalışan cam ambalaj üretim hatlarında bulunan otomatik master cihazlarında genellikle iki kol bulunmaktadır. Bu kollar sürekli olarak yukarı aşağı mekanik bir hareket yapmaktadır. Kollardan biri hatta ilerleyen cam ambalajın hem iç hem dış kafa çapını ölçerken, diğer kolda ucunda bulunan düz yüzeyli yuvarlak bir plaka vasıtasıyla ambalajın ağız yüzeyinin düzgünlüğünü kontrol etmektedir.

Cam Dağılımı Ölçüm Sistemleri

Bu cihazlar, mamulün cidar kalınlığını çeşitli bölgelerde kapasitif ölçüm yolu ile tayin ederek ayırım yapmaktadırlar. Cidar kalınlığı, katlanmış cam, dolmamış ağız ve salıncak gibi hataları bu tür cihazlar ile tespit etmek mümkündür [25].

Esas itibariyle, cam cidar kalınlığı ölçüm cihazları, hassas kapasitans başlıklar kullanarak elektronik şekilde yapılan kalınlık ölçüm işlemi prensipleri dikkate alınarak dizayn edilmektedir. Şekil 4.16'da hassas kapasitans başlıklarının şişe yüzeyi ile teması görülmektedir. Bu hassas başlıklardaki kapasitans değeri, cam ambalajın sensör ile temas eden yüzeyindeki ortalama cam kalınlığı ile orantılı olarak değişmektedir.

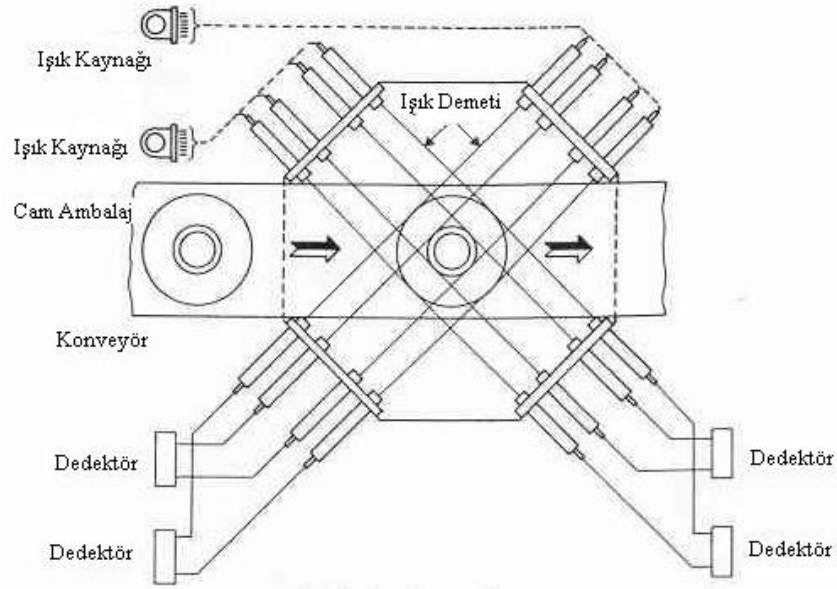


Şekil 4.16: Cidar kalınlığı ölçüm cihazında bulunan hassas başlıklar [22].

Şekilde de görülen hassas başlıklar tarafından algılanan kapasitans değişimi doğrusal voltaj enerjisine dönüştürülmektedir. Böylece cam ambalajın yan yüzeyindeki ortalama kalınlık değerleri, kabul edilebilir minimum kalınlık seviyesi ile karşılaştırılarak, bu seviyenin altında kalan kalınlık değerlerine sahip cam ambalaj ürünler otomatik olarak hattan atılmakta ve geri dönüşüm tesisine gönderilmektedir [22].

Gövde Hataları ve Boyut Ölçüm Sistemi

Boyut ölçümü yapılan cihazlarda da aynı şekilde minimum ve maksimum yükseklik ve çap toleransları kullanılmaktadır. Cam ambalajın ağzında bulunan çıkıntı ve sarkıklık gibi hataların tespiti de bu ekipmanlar ile mümkün olmaktadır. İşlem prensipleri Şekil 4.17’de şematik olarak gösterilmiştir [22].

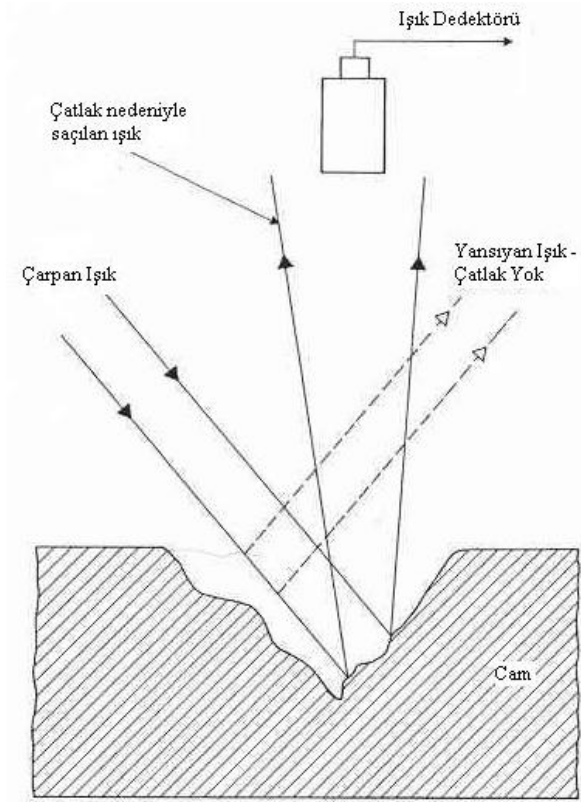


Şekil 4.17: Gövde kontrolü ve boyut ölçüm cihazı [22].

Şekilden de görüldüğü gibi, iki ayrı ışık kaynağından çıkan ışınlar ikiye bölünmekte ve mamulün elektronik görüntüsünü belirlemektedir. Otomatik görsel ayırım cihazı olarak ta ifade edilen bu cihazda, cam ambalaj mamule gönderilen ışık demeti mamul tarafından kesilmekte ve mamulün elektronik görüntüsü elde edilmektedir. Bu görüntü cam ambalajın sahip olması gereken boyutlara uygun olarak hazırlanan şablon görüntüyle karşılaştırılarak tolerans ölçüleri dışında kalan boyut farklılıklarına sahip mamuller otomatik olarak hattan atılmaktadır. Bu cihazlar ile cam ambalaj mamulün gövdesi üzerindeki her hangi bir bölge ele alınarak bu bölgenin boyutları ölçülebilmektedir. Böylece cam ambalajın gövde çapı, yüksekliği ve gövdede oluşan eğrilik gibi parametreler otomatik görsel ayırım cihazları ile ölçülebilmekte ayrıca gövde de bulunan taş, habbe gibi hatalarda tespit edilebilmektedir [22].

Çatlak Kontrol Sistemi

Tablo 4.1’de pek çok hata türü belirtilmiş olmasına rağmen cam ambalaj üretim hatlarında ticari olarak genellikle çatlak kontrol cihazları da kullanılmaktadır. Şekil – 4.18’de bu tür çatlak hatalarının tespitinin ana prensipleri gösterilmektedir.



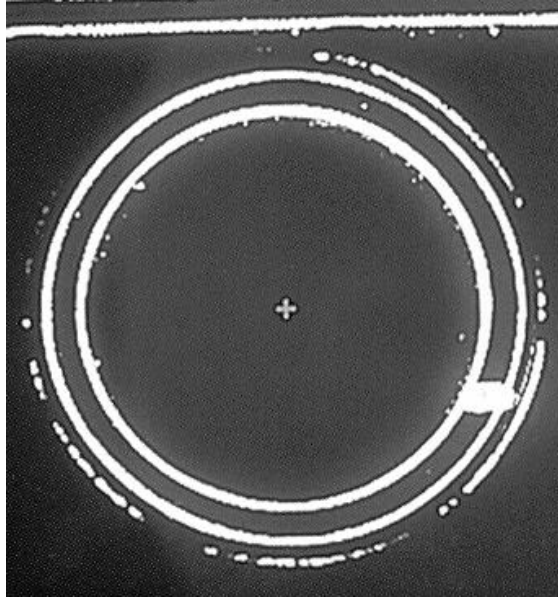
Şekil 4.18: Çatlak kontrol cihazının çalışma prensibi [22].

Otomatik çatlak kontrol cihazına gelen cam ambalaj mamul, ışık demetlerine maruz kalmaktadır. Mamulde bulunan bir çatlığa çarpan ışık demeti normalden farklı bir şekilde saçılma göstermektedir. Saçılan bu ışık demeti uygun bir şekilde yerleştirilen ışık dedektörü tarafından algılanır ve hatalı mamulün otomatik olarak hattan atılması sağlanır [22]. Cam ambalaj bir mamulün, kafa ve kafa altı, omuz, gövde, etek ve dip bölgelerinde çatlak bulunabilmektedir. Farklı bölgelerdeki çatlakların tespitinde farklı otomatik kontrol cihazları kullanılabilirken, tek bir otomatik kontrol cihazı ile de cam ambalaj mamulde bulunan çatlakları tespit etmek mümkündür.

Ağız Kontrol Sistemi

Cam ambalajın ağız ve taban bölgesindeki çeşitli hataların tespitinde kullanılan otomatik kontrol makinelerinde, geliştirilen bir teknolojiye yüksek çözünürlüğe sahip matriks kameralardır. Cam ambalaj, konveyör bandında ilerleyerek matriks kamera altından geçerken, altta bulunan ışık kaynağı sayesinde ekranda Şekil 4.19’da gösterilen şekilde bir görüntü elde edilmektedir.

Cam ambalajın ağız bölgesinde bulunabilecek çeşitli hataların ışığı farklı şekilde yansıtması özelliğinden faydalanılarak, tolerans sınırları dışında kalan hatalar sistem tarafından tespit edilmekte ve hatalı ürün hattan atılmaktadır.

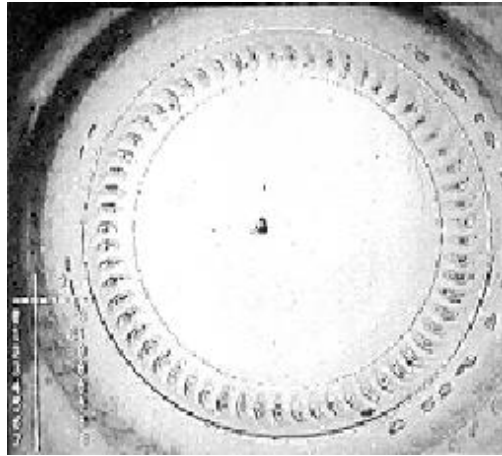


Şekil 4.19: Cam ambalaj ağız kontrolünde ekranda elde edilen görüntü örneği [26].

Şekilde görülen habbe türü hatalar ışığı daha fazla geçirdikleri için diğer kısımlara göre daha parlak görünmektedir. Habbenin boyutlarının sisteme girilen tolerans limitlerinin dışında olması durumunda sistem bu mamulü hatalı olarak algılayıp ıskartaya atmaktadır. Ağız kontrolü yapan bu istasyonlarda cam ambalajın ağız bölgesinde olması muhtemel, habbe, taş, yırtık, kirli yüzey, çatlak gibi hataların tespiti mümkün olmaktadır [26].

Taban Kontrol Sistemi

Cam ambalajın taban kısmındaki hataların tespit edildiği kalite kontrol istasyonunda da benzer şekilde matriks kamera kullanılmaktadır. Bu istasyonda da cam ambalaja alttan gelen ışık kaynağı sayesinde elde edilen görüntü üzerinde hatalar tespit edilmektedir. Bu istasyonlarda çeşitli şekillerdeki (yuvarlak, oval, elips, dikdörtgenv.b) cam ambalajlar test edilmektedir. Şekil 4.20’de dip kontrolü yapılan bir cam ambalajın ekrandaki görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 4.20: Cam ambalaj dip kontrolünde elde edilen görüntü örneği [26].

Şekilde cam ambalajın taban kısmında görülen taş gibi hatalar diğer kısımlara göre ışığı daha az geçirmekte ve daha koyu görünmektedir. Taşın boyutlarının limitlerin dışında olması halinde mamul sistem tarafından hatalı olarak algılanmakta ve hattan atılmaktadır. Cam ambalajlarda, taban kısmının kalite kontrolünün yapıldığı bu istasyonlarda taş, habbe, kalıntı, yırtık, kirli yüzey, salıncak gibi hataların tespit edilmesi mümkündür [26].

Günümüzde cam ambalaj imalatçıları otomatik kalite kontrol sistemlerinden sadece hatalı mamulü tespit etmesini değil ayrıca mamulde bulunan hatanın türü hakkında da bilgi vermesini istemektedirler. Böylece mamulde bulunan hata çeşidi hakkında yeterli bilgiye sahip olan operatörler üretim hattının sıcak ucunda üretime daha kısa sürede ve daha kolay müdahale ederek mevcut hatanın ortadan kalkmasını sağlayabilmektedirler.

Otomatik kalite kontrol makinelerinin sağladığı, diğer bir önemli fayda ise kalıp numarası okuyabilmeleridir. Cam ambalaj mamulün taban kısmında alfa nümerik (1, 2, 3, v.b. arap rakamları) rakamlar ile yada mamulün etek kısmında özel nokta kodlama sistemi ile kalıp numaraları belirtilmektedir. Otomatik kalite kontrol makinelerinde bulunan özel kamera sistemleri sayesinde her iki türdeki kalıp numarası kodları okunabilmekte ve böylece mamulde karşılaşılan hata tipi ile kalıp numarası arasında ilişki kurmak mümkün olabilmektedir.

Üzerinde çatlak, habbe, taş, eğiklik, v.b. herhangi bir hata bulunan cam ambalajın hangi kalıpta şekillendirildiği tespit edilerek, sıcak uca bu bilgi aktarılmakta böylece operatörlerin hatanın hangi kalıpta olduğunu arayarak zaman kaybetmeleri engellenmektedir. Böylece, kalıp numarası izleme sistemi üretimde optimizasyonu sağlarken verimliliğin artmasına da katkıda bulunmaktadır [26].

4.6.2.3 - Laboratuarda Kalite Kontrol

Laboratuar kontrolünde, üretim prosesinin akışına ve üretim çeşitliliğine göre üretimin kontrol sıklığı değişmektedir. Bununla beraber üretimlerle ilgili laboratuar kontrolleri aşağıda belirtilen zamanlarda mutlaka yapılır.

- Üretim başlangıcında,
- Üretim esnasında tespit edilen hatalı durumlarda,
- Kalıp değiştirme zamanlarında,
- Kalıp analizi amacıyla imalat bitiminde.

Üretim Başlangıcı Laboratuar Kontrolü

Master ve Aparatların Kontrolü: Üretim başlangıcında, hat başı kontrolünde kullanılacak ağız iç - dış masterları, öncelikle kalite kontrol laboratuvarında ölçülerek boyutları kalibre edilir.

Deneme Üretimi Laboratuar Kontrolü: Cam ambalajın, istenilen özelliklere uygun olması için yapılması gereken ön çalışmaları tespit etmeye ve yönlendirmeye yarayan kontroldür.

Üretim Laboratuvar Kontrolü

İmalat giriş ve çıkışlarında ve uzun süren üretimlerde belirli periyotlarla hattın tüm çalışan kalıplarına ait birer numune, lazer sistemi ile profil ölçümü yapan ve bilgisayar bağlantısı bulunan cihazda test edilmektedir. Bu cihazın bir cam ambalajda ölçebildiği ölçüler;

Yükseklik, Ağırlık, Kafa Eğriliği, Diş üstü çapı, Diş dibi çapı, Bilezik çapı, Boyun çapı, Gövde çapı, Gövde eğriliği şeklinde sıralanabilir.

Laboratuvarda üretim sırasında yapılan diğer ürün kalite kontrolleri aşağıda sıralanmıştır; [6]

- Yoğunluk Kontrolü.
- Habbe Kontrolü.
- Renk Kontrolü.
- Ultra Viole (UV) Işın Kontrolü.
- Kimyasal Dayanıklılık.
- Toz Testi.
- Su Tesiri Testi.

4.7 – Ambalajlama

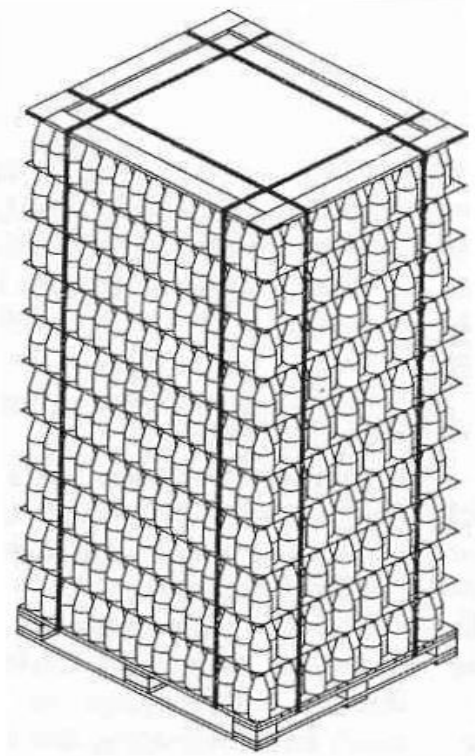
Ambalajlama işlemi, manuel veya otomatik ambalajlama (paletleme) makinelerinde olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Ambalaj standardında verilen esaslar doğrultusunda şişe adedi ve diziliş şekli esas alınarak ambalajlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Cam ambalaj ürünlerin paketlenmesinde kullanılan ambalaj tipleri şu şekilde sıralanmaktadır.

- Tava – palet – shrink (manuel veya otomatik – yarı otomatik paletleme makinesi ile)
- Karton kutu (manuel)
- Kasalama (manuel veya otomatik)
- Paket shrink ambalaj (otomatik)
- Palet ambalajlama [6]

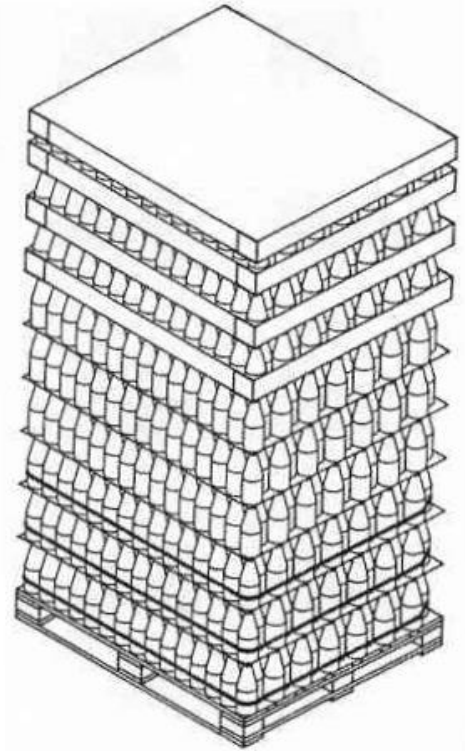
Cam ambalaj üreticisinin, paletlenmiş cam ambalaj mamulleri doluncuya teslim ederken taşıdığı amaç, müşterisine her türlü ambalaj türünü en esnek kütleli paket halinde sunabilmektir. İdeal olarak, cam ambalaj üreticileri herhangi bir ambalajı kümeler bozulmayacak şekilde basit bir kütleli paket haline getirebilmelidir.

Üretim hattının sonunda anahtar konumda olan paletleme sistemi ya bir dar boğaz oluşturabilir, yada cam ambalaj üreticisinin, müşterilerinin değişken isteklerine kolaylıkla cevap verebilmesini sağlar.

Kütleli paletleme gereksinimleri her zaman bütün cam ambalaj kullanıcıları için aynı olmamaktadır. Farklı palet çözme tercihleri, ambalaj şekilleri, malzeme maliyetleri ve nakliye şartları her kullanıcı için en uygun kütleli palet yönteminin tespit edilmesinde rol oynar. Bugün dünyada en çok kullanılan kütleli palet sistemi, katları ayıran düz tabakalar ile en altta ve en üstte plakalardan oluşan paletin sarılmasıyla meydana gelmektedir. (Şekil 4.21). Paketlenen cam ambalaj mamuller genellikle dış koruma için streç naylon ile sarılmaktadır. Ancak hassas cam ambalajların dış etkenlere karşı korunması için her katın streç naylon ile sarılması ve farklı malzemeden tepsilerin kullanımı da mümkün olmaktadır (Şekil 4.22) [27].



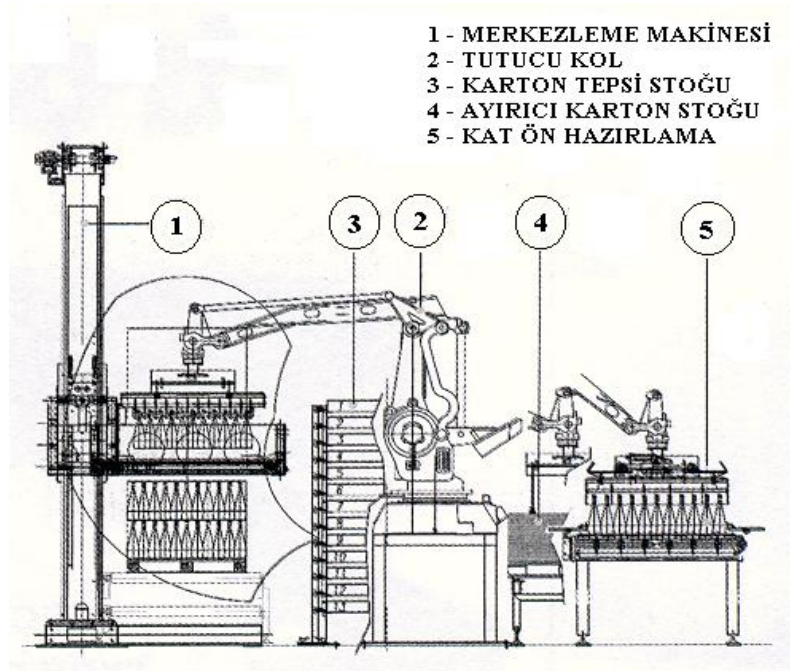
Şekil 4.21-a) Plakalı paletleme örneği,



b) Tepsili paletleme örneği [27].

Paletleme makinesinde genellikle katlar arasında karton ayırıcılar yeterli olmakla birlikte çok dengesiz ambalajlar için katlar karton tepsinin içine yerleştirilebilir veya her kat üstüne tepsiler ters yerleştirilerek cam ambalajın kayması önlenir.

Genellikle cam ambalaj ürünlerin paletlenmesinde tutma-yerleştirme (pick and place) tekniği kullanılmaktadır. Çünkü bu teknik paletleme makinelerinin yer seviyesinde çalışmasına imkan vermektedir. Tutma –yerleştirme tekniğinde Şekil 4.23'te de görüldüğü gibi tutucu kollar bir katı oluşturacak sayıda cam ambalajı kaldırır ve palet üzerine taşırlar. Daha sonra diğer kollar ambalaj üzerine ayırıcı kartonları yerleştirir ve bütün katlar bu şekilde oluşturulur. En sonunda palet tipine göre tepeye ahşap plaka veya karton tepsi yerleştirilerek palet tamamlanır. Katları tamamlanan paletin üzerine plastik torba geçirilir ve hazırlanan palet belli bir sıcaklıkta ısıya maruz tutularak plastik torbanın büzülmesi böylece paleti daha sıkı bir şekilde sarması sağlanır. Bu işlem ile cam ambalaj mamullerin taşıma esnasında palet üzerinden kaymaları da önlenmiş olur [27].



Şekil 4.23: Tutma – yerleştirme prensibine göre çalışan otomatik paletleme makinesi [27].

5 – ÜRETİM TAKİP SİSTEMİ

Bir üretim hattında verimlilik ve kalite gereksinimlerini sağlayabilmek için, belli bir düzene ve gerçek zamanlı üretim verilerine sahip olmak ve ilaveten bu verileri izleyebilmek gerekmektedir. Başka bir ifadeyle, üretim prosesini sürekli gözlemleyerek ve herhangi bir problem ile karşılaşıldığında anında müdahale ederek prosesi kontrol altında tutmak önemlidir. Böylece üretim verimliliğini ve kaliteyi artırmak mümkün olabilmektedir.

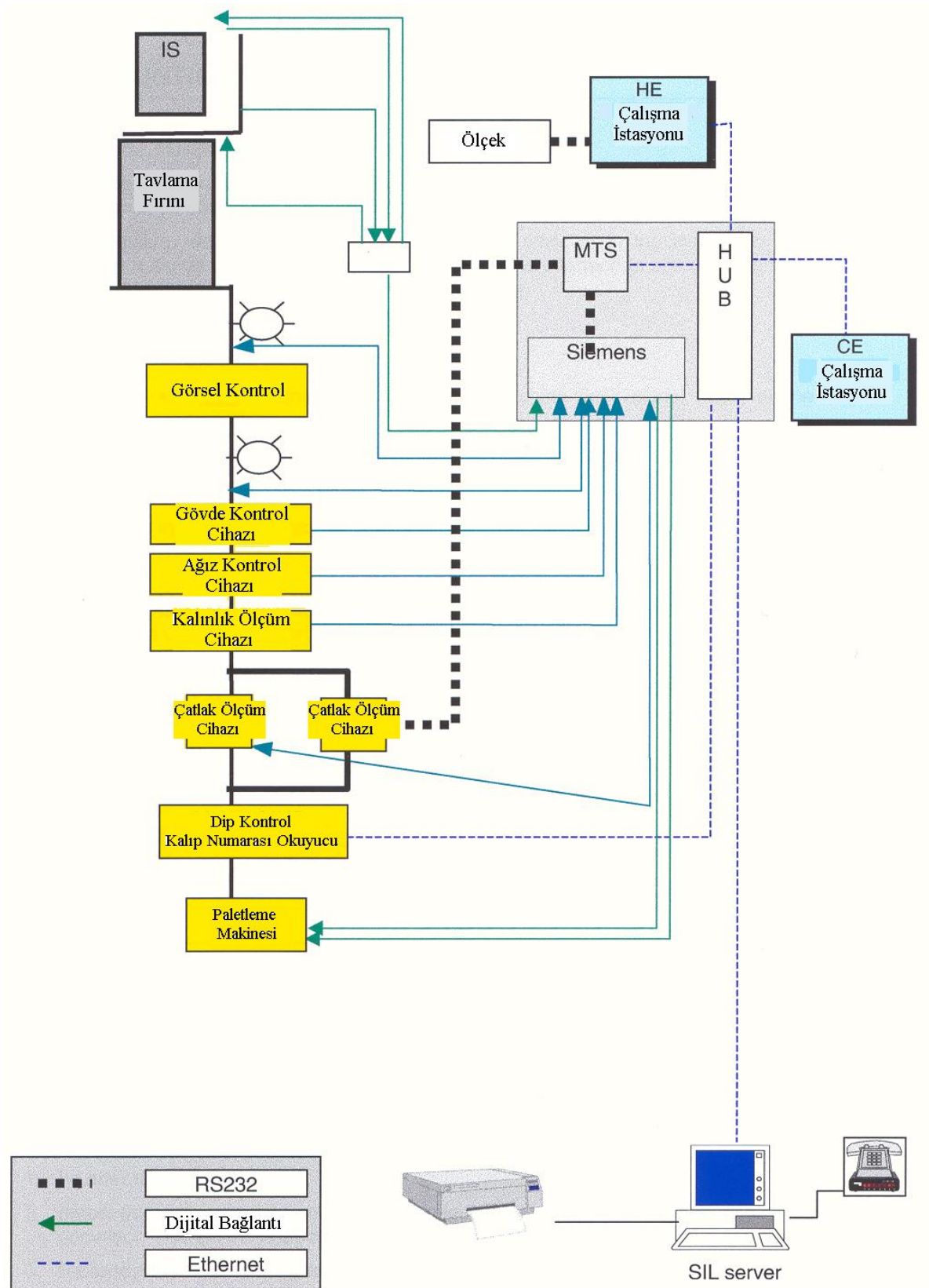
Endüstriyel uygulamada verimliliği ve kaliteyi arttırmak amacıyla kullanılan proses kontrol tekniklerinden biri de üretim takip sistemidir. Bir cam ambalaj fabrikasında uygulanan üretim takip sistemi, prensip olarak, fabrikada bulunan her bir üretim hattında, kesilen damla ile paletleme arasında kalan bölgedeki verileri toplayarak analizini yapmak ve analiz sonuçlarını ilgili operatörlere iletmek esasına göre çalışmaktadır. Böylece operatörün tüm hattı tek bir monitör üzerinde takip etmesi sağlanmakta ve hatta oluşabilecek bir probleme anında müdahale ile hatalı ürün oranının minimum seviyede tutulmasına imkan verilmektedir.

Üretim takip sistemi tarafından toplanan verilerden birisi de, üretim hattında meydana gelen mamul kayıplarının kayıdır. Cam ambalaj toplam üretim verimliliğinin tespiti için bu bilgi gerekli olmaktadır. Bu veriler üretim hattında bulunan kalite kontrol cihazlarından, iletişim kutuları aracılığıyla alınmakta ve hattaki mamul kayıplarının belirlenen limitleri aşması halinde de sistem alarm vermektedir.

Hattan alınan bir diğer bilgide, her bir kalıptan kaynaklanan hata oranıdır. Bu veriler, hatta bulunan kalıp numarası okuyucu istasyon aracılığıyla elde edilmekte ve her bir kalıpta şekillendirilen mamul ve hatalı mamul sayısı tespit edilmektedir. Bu verilerin analizi yapılarak her bir kalıbın hata dağılım oranı istatistiksel olarak belirlenmektedir.

Üretim takip sistemi ayrıca hattın soğuk ucunda bulunan operatör ile sıcak ucunda bulunan operatörün kısa mesaj servisi ile haberleşmesine de imkan vermektedir. Sıcak uçta bir kalıp değiştirildiğinde yeni kalıp numarası soğuk uca anında bildirilmekte ve buradaki operatörün gerçek zamanlı olarak üretimi takip etmesi sağlanmaktadır. Bu sistem sayesinde, soğuk uçtaki operatörün hattan numune alarak yaptığı kontroller sonucunda ürünlerde gördüğü hataları sıcak uca anında bildirmesi buradaki operatörün de kalıplara müdahale ederek hatayı gidermesi sağlanmış olur. Böylece hatalı kalıba kısa zamanda müdahale edilerek hatalı mamul oranının azaltılması sağlanmaktadır. Şekil 5.1’de üretim takip sistemi uygulanan tipik bir cam ambalaj üretim hattının çizimi gösterilmektedir.

Üretim takip sistemi kapsamında hat üstüne elektro optik sensörler yerleştirilerek hatta ilerleyen şişeler sayılır. Ayrıca kalite kontrol cihazları ile bağlantı sağlanarak her bir cihazdan atılan şişe sayısı da tespit edilir. Bütün bu veriler sisteme aktararak analiz edilir ve böylece hatta meydana gelen kayıpların hattın hangi noktalarında meydana geldiği belirlenmiş olur. Elde edilen bu sonuçlar kayıpların hangi noktalarda yoğunlaştığını göstermekte ve böylece hatanın kaynağını bulmak için zaman harcanmasına gerek kalmamaktadır. Üretim takip sistemi geriye dönük olarak veri tabanı şeklinde analiz sonuçlarını hafızasında saklamakta ve geçmiş zaman diliminde üretim hattında gerçekleşen gelişmeler takip edilebilmektedir.



Şekil 5.1: Üretim takip sistemi uygulanan tipik bir cam ambalaj üretim hattı.

6 – İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL

6.1 - Genel

Endüstriyel kontrol metotlarının çoğu, proseste bir dengesizlik tespit edildikten sonra bu dengesizliği ortadan kaldıracı önlemlerin alınması şeklinde çalışmaktadır. Bir başka ifadeyle, geleneksel proses kontrol metodu, hatalı mamul oranını ancak hata meydana geldikten sonra azaltabilmektedir. Geleneksel proses ve kalite kontrol yönteminde hatalı ürün tespit edilmekte ve hattan atılmaktadır. Reddedilen ürünün spesifikasyonları veya ret nedenleri çoğu zaman bilinmemektedir. Dolayısıyla bu tür geleneksel yöntemler ile proses ve kalite kontrolü yapılan işletmelerde makinelerin kısa zamanda bozulması nedeniyle maddi kayıplar meydana gelebilmekte ve çoğu zaman makinelerin bozulmasına neden olan problemler önceden tespit edilememektedir.

Proseslerin kontrol altında tutulması amacıyla kullanılan tekniklerden en önemlisi istatistiksel proses kontrol (İPK) yöntemidir. Proseslerden elde edilen verileri çeşitli istatistiksel yaklaşımlar ile değerlendiren İPK, prosesin geçmiş verilerine dayanarak olası gelişmelerle ilgili yorum yapma imkanı vermektedir. İPK yönteminin ilk amacı üründe kaliteyi sağlarken aynı zamanda da geliştirmek ve ayrıca hatalı ürünler nedeniyle artan maliyetleri azaltarak müşteri memnuniyetsizliklerini engellemektir [28].

Hatalı işlenmiş bir ürünün tekrar işlenmesi yada ıskartaya ayrılmasının maliyeti, o ürünün hatalı üretimini engellemek için yapılacak faaliyetlere kıyasla çok yüksek olacaktır. Bu nedenle bir ürün üzerinde oluşabilecek hatalara tepki göstermek yerine, hataları daha oluşmadan önlemek günümüz kalite anlayışının da temelini oluşturmaktadır [29].

İPK teknikleri, satın alınan malzemeler, metotlar, prosesler, makineler, ürünler ve insan faktöründeki değişimleri kontrol altına almak, niceliksel ve niteliksel özelliklerini ölçmek amacıyla sayısal veriler kullanarak sonuçlara ulaşmayı hedeflemektedir. İPK tekniklerinin uygulanmasının iki temel nedeni bulunmaktadır. Prosesi sürekli kontrol altında tutarak a) Verimliliği arttırmak, b) Kaliteyi geliştirmek [29].

İstatistiksel proses kontrolde yaygın olarak kullanılan bazı istatistik ile ilgili kavramları şu şekilde tanımlamak mümkündür;

Örnek: Belli ve sınırlı sayıda elemanlardan meydana gelen bir kümenin karakteri hakkında bilgi edinmek için kümeden alınan alt küme olup genellikle (n) ile sembolize edilir. Kümeden seçilen örnekler tesadüfi olmalı ve kümeyi temsil etmelidir.

İstatistiksel seri: Belirli yöntemlerle toplanan verilerin analize hazır hale getirilebilmesi ve değerlendirilebilmesi için istatistiksel seri şekline sokulması ve grafiğinin çizilmesi gerekir. İPK çalışmalarında kullanılan başlıca istatistiksel seriler; basit seri, frekanslı seri ve sınıflı seri olarak ayrılmaktadır.

Süreçteki değişkenliği açıkça görebilmek ve sürecin geçerliliği hakkında bir yargıya varabilmek için kümeden alınan örneklerden elde edilen verilerin büyüklüklerine göre sınıflandırılması gerekmektedir.

Histogram: Bir sayı grubunda hangi sayının ne sıklıkta olduğunu gösteren bir grafikdir. Bir başka ifadeyle histogramda hangi değerden kaç tane olduğu işaretlenir.

Veri Toplama

İstatistiksel teknikler kullanarak doğru sonuçlara ulaşabilmek için önce verilerin doğru olarak toplanması gerekmektedir. Veriler, incelenen durumu gerçekçi bir şekilde yansıtmalı, tarafsız olmalı ve verilere yorum katılmamalıdır. Genel olarak veriler iki ana gruba ayrılır;

a) Niceliksel veriler: Karşılığı bir alet yardımıyla ölçülmüş bir rakam olan sayısal verilerdir. Kalınlık, sıcaklık, ağırlık vb. gibi ölçülebilen değerlerdir.

- b) Niteliksel veriler: Belirli bir özelliğin duyu organlarımızla muayenesi veya sayılması ile toplanabilen verilerdir. Örneğin kusurlu ürün oranı vb. gibi.

6.2 – İPK Yöntemleri

Üretim işlemini istenilen ortalama kalite düzeyi ve kalite tekdüzeliği altında yürütmek en ekonomik ve güvenilir bir biçimde ancak İPK metotlarını uygulamakla mümkün olmaktadır. Kalite problemlerinin çözümünde yaygın kullanım alanına sahip olan ve özellikle proses kontrolü amacıyla kullanılan başlıca yedi yöntem bulunmaktadır.

6.2.1 – Çetele Diyagramı

Frekans dağılımı da denilen basit bir veri gruplama yöntemidir. Dağınık bir biçimde toplanan verilerden ilk bakışta daha fazla bilgi elde etmek üzere verilerin, alt ve üst sınırları belirlenen sınıflara ayrılması ve bu sınıflar arasında kalan değerlerin sayılması esasına dayanmaktadır.

6.2.2 – Histogram

Çetele diyagramı ile sınıflandırılan verilerin histogram adı verilen bir grafikte izah edilmesi yöntemidir. Histogram üzerinde gerektiğinde alt ve üst spesifikasyon limitlerinin belirlenmesi yolu ile, kabul edilen ve red edilen üretim miktarları kolaylıkla görülebileceği gibi, verilerin normal dağılıp dağılmadığı da izlenir. Histogramlar, spesifikasyon ve sonuç arasındaki ilişkilerin araştırılmasında, normal olmayan verilerin belirlenmesinde, malzeme ve değişik verileri (alet vs.) sınıflandırarak üretim süreci içerisinde değişikliklere neden olan faktörlerin gözden geçirilmesinde kullanılmaktadır.

6.2.3 – Pareto Analizi

Değişik parçalar için üretim hatalarının ve işçilik giderlerinin, maliyetin yüzde ne kadarını oluşturduğunun görülebildiği, maliyet ve hata analizi için kullanılan bir yöntemdir. Pareto analizi, gücün bir noktaya yoğunlaştırılmasında, grubun yaptığı çalışmalarda sonuçların doğruluğunu göstermede ve yönetime etkili raporların sunulmasında başvuru bir yöntemdir.

6.2.4 – Sebep-Sonuç Diyagramı (Kılçık Diyagramı)

Sebep-sonuç diyagramı yardımıyla problem hakkında tüm bilinenler ortaya konulur ve buradan bilinmeyenlere doğru sistematik bir yaklaşımla problemin çözümü sağlanmaya çalışılır. Hatalı ürünü ortaya çıkaran nedenleri ile hataların önem dereceleri de farklılık gösterdiğinden bunları bir proses içerisinde sistematik olarak izlemek mümkündür. Sebep-sonuç diyagramları, ortaya çıkmış bir sonucun (kalite problemleri vs.) oluşmasına neden olan ana ve bunlara bağlı alt nedenlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

6.2.5 – Sınıflandırma (Tabakalama)

Belli kategorilere ve özelliklere göre bilgilerin sınıflandırılma sürecidir. Sınıflandırma sorunları çözmede yardımcı bir yöntemdir. Çözüm sürecine yardım etmekte ancak kendi başına sorunları çözmemektedir. Sorunların meydana gelmeden önlenmesi için kullanıldığı gibi, bir sorunun parçalara ayrılıp her parçanın tek tek incelenmesine de imkan sağlamaktadır.

6.2.6 – Serpilme (Dağılma) Diyagramı

Üretilen iki ürünün kalitesini etkileyen herhangi iki özellik arasında ilişki olup olmadığını belirlemek üzere kullanılan bir yöntemdir. Uygulamada genellikle bir ürünün karakteristiğinin üretim prosesinin karakteristiği ile ilişkili olup olmadığı araştırılır. Kalite problemleri çoğunlukla bu ilişkinin bozulması sonucu ortaya çıkmaktadır. Aralarında ilişki bulunan karakteristiklerden bir tanesi kontrol altına alındığında, ikincisini de kontrol altında tutmak mümkün olmaktadır [29].

6.2.7 – Kontrol Diyagramları

Bilgisayar destekli bir projenin İPK tekniğinde kullanılabilmesi için öncelikle bilinmesi gereken, proses parametrelerindeki değişikliklerin nedenleridir. Proses parametrelerinde iki tip değişiklik meydana gelebilmektedir. Bunlar; 1) doğal nedenlerden dolayı meydana gelen değişiklikler, 2) özel nedenlerden dolayı meydana gelen değişiklikler.

Proses parametrelerinde meydana gelen değişikliklerin %80'i kullanılan ekipmanlardaki hatalar, ekipmanların kalibrasyonunda kademeli olarak bozulma meydana gelmesi, makinelerde zamanla aşınma ve yıpranma olması, yetersiz bakım programları gibi doğal nedenlerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenlerle proseste meydana gelen değişimler, prosesin kendisinden kaynaklandığı için tamamıyla ortadan kaldırılamazlar ve bu değişimlerin çoğunun operatörler tarafından düzeltilmesi de mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla bu tür değişimlerin meydana geldiğı proseslerden elde edilen veriler, bilgisayar destekli gerçek zaman analizleri kullanılarak değerlendirilip, proses parametrelerinde meydana gelen değişimlerin önceden tahmin edilmesi ve düzeltilmesine yönelik tedbirlerin alınması mümkün olabilmektedir. Proses parametrelerindeki değişimlerin %20'sine ise, yanlış ayarlanmış ekipmanlar, uygunsuz makineler, malzemeler, operatör gibi faktörlerin oluşturduğu özel nedenler sebep olmaktadır. Kalite özelliklerindeki değişkenliğin, tesadüfen mi yoksa bir takım tespit edilebilir özel nedenlerden mi kaynaklandığı, kontrol diyagramları kullanılarak tespit edilmektedir [28].

Tanım olarak bakıldığında, ürünün gerçek kalite özelliklerini, geçmiş deneylere dayanarak saptanan limitlere göre kronolojik kıyaslamaya yarayan grafikler kontrol diyagramları olarak ifade edilmektedir. Kontrol diyagramları endüstride prosesin kontrolü amacıyla yaygın olarak kullanılan İPK yöntemlerinden biridir. Kontrol diyagramlarının kullanılabilmesi için prosesten düzenli bir şekilde veri toplanması gerekmektedir.

Kontrol diyagramlarının yapısına bakıldığında, diyagramda üç ana çizgi bulunduğu görülmektedir. Bunlar, üst kontrol limiti (ÜKL) çizgisi, alt kontrol limiti (AKL) çizgisi ve ortalama (merkez) çizgisi şeklindedir. Bu kontrol limitleri prosesteki doğal nedenlerden doğan değişimlerin sınırlarıdır ve hesaplama ile elde edilmektedir. Kontrol limitlerinin dışında kalan noktalar ise tipik özel neden belirtisidir.

Genel olarak kontrol diyagramlarını ölçülebilen karakteristikler (uzunluk, ağırlık, yoğunluk vb.) için ve ölçülemeyen karakteristikler (kırık, çatlak, bozuk vb.) için şeklinde iki gruba ayırmak mümkündür. Ölçülebilen karakteristikler için hazırlanan kontrol diyagramı çeşitlerini ise üç ana grupta toplamak mümkündür.

6.2.7.1 – Ölçülebilen Karakteristikler için Kontrol Çizelgeleri

1) $\bar{X}$ &R Kontrol Çizelgesi

$\bar{X}$ &R çizelgesi, prosesin durumunu ve prosesteki değişimleri, ölçülebilen verilerden hesaplanan ortalamalar ($\bar{X}$) ve aralık (R) değerleri ile kontrol eden bir diyagramdır. $\bar{X}$ &R kontrol diyagramını yada diğer kontrol diyagramlarını oluşturmadan önce, ilk olarak şu adımlar takip edilmelidir;

- Proses tanımlanmalı ve prosese ait bilgiler çizelgede belirtilmelidir.
- Kontrol edilecek değişkenler yada karakteristikler belirlenmelidir.
- Ölçüm sistemi belirlenmelidir. Ölçüm sistemi tekrar edilebilir olmalıdır [30].

Bu işlemler tamamlandıktan sonra $\bar{X}$ &R kontrol çizelgesi oluşturmak için;

- Alt grup örnek büyüklüğü ve alt gruplar arası zaman aralığı belirlenerek gerekli ölçümler yapılır.
- Her bir alt grup için ortalama ($\bar{X}$) ve aralık (R) değerleri hesaplanır.

$$\bar{X} = (X_1 + X_2 + \dots + X_n) / n \quad (6.1)$$

$$R = X_{\max} - X_{\min} \quad (6.2)$$

- Kontrol limitleri hesaplanır.

$$\bar{\bar{X}} = \Sigma \bar{X} / k, \quad (6.3)$$

$$\bar{R} = \Sigma R / k \quad k: \text{alt grup sayısı} \quad (6.4)$$

$$\bar{U}KL_X = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (6.5)$$

$$\bar{A}KL_X = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (6.6)$$

$$\bar{U}KL_R = D_4 \bar{R} \quad (6.7)$$

$$\bar{A}KL_R = D_3 \bar{R} \quad (6.8)$$

Kontrol limitlerinin tespitinde standart sapmada ($\hat{s}$) kullanılmaktadır. Buna göre alt ve üst kontrol limitleri şu şekilde hesaplanır;

$$\hat{s} = \bar{R} / d_2 \quad (6.9)$$

$$\text{ÜKL} = \bar{X} + 3\hat{s} \quad (6.10)$$

$$\text{AKL} = \bar{X} - 3\hat{s} \quad (6.11)$$

A_2 , D_4 , D_3 ve d_2 sabit değerler olup alt grup örnek sayısına göre değişmektedir. Tablo 6.1’de 10 adete kadar olan örnek sayısı için sabit değerler görülmektedir.

Tablo 6.1: A_2 , D_4 , D_3 ve d_2 sabit değer tablosu.

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A2	1.880	1.023	0.729	0.577	0.483	0.419	0.373	0.337	0.308
D3	0	0	0	0	0	0.076	0.136	0.18	0.22
D4	3.267	2.574	2.282	2.114	2.004	1.924	1.864	1.82	1.78
d2	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.970	3.078

- Hesaplanan $\bar{X}$ ve R değerleri diyagram üzerinde noktalanarak yerleştirilir.
- Çizelgede ilk olarak kontrol dışı koşullar araştırılır. Kontrol dışı koşullar varsa özel nedenleri bulunmaya çalışılır.
- Bir kontrol çizelgesindeki tüm kontrol dışı koşullar, özel nedenleri bulmak ve bunları ortadan kaldırmak için bazı müdahaleler gerektirir. Eğer bu nedenler bulunur ve ortadan kaldırılırsa kontrol limitleri yeniden hesaplanır [30].

2) X&R Kontrol Çizelgesi

X&R çizelgesinde alt grup ortalamaları yerine tek tek alınan ölçümler kullanılarak diyagram oluşturulmaktadır. Bu tür çizelgeler, kısa süreli üretimler, tahribatlı deneyler, özel proses testleri (boya katı analizi, iletkenlik vb.), yüksek maliyetli muayeneler, tekil ölçümlerin gerekli olduğu her türlü prosese uygulanabilmektedir.

3) $\bar{X}$ & $\hat{s}$ Kontrol Çizelgesi

$\bar{X}$ & $\hat{s}$ proses kontrol çizelgeleri, özellikle çok sayıda örnek için proses değişkenliklerini göstermesi açısından daha verimli ve etkilidir. Bu kontrol çizelgesinde her bir alt grup için standart sapma ($\hat{s}$) hesaplanarak R çizelgesinin yerine yerleştirilmektedir.

$$\hat{s} = \{ \Sigma(X_i - \bar{X})^2 / n-1 \}^{1/2}$$

Kırık, çatlak, bozuk, lekeli vs. gibi duyu organlarıyla algılanan, ölçülemeyen karakteristiklerin kontrolünde p, np, u ve c olmak üzere dört farklı kontrol çizelgesi kullanılmaktadır. p ve np kontrol diyagramları bir prosesteki hatalı parça adetlerinin takibinde, u ve c kontrol diyagramları ise bir parçadaki hata adedinin takip edilmesinde kullanılmaktadır.

6.2.7.2 – Ölçülemeyen Karakteristikler için Kontrol Çizelgeleri

1) p Kontrol Çizelgesi

p çizelgesi incelenen bir grup ürün içindeki hatalı oranını ölçmek amacıyla kullanılmaktadır. p çizelgesinde örnek büyüklüğü n, sabit olabileceği gibi değişken de olabilmektedir. Eğer örnek büyüklüğü değişken ise her bir örnek için kontrol limitleri ayrı ayrı hesaplanmalıdır. n; örnek büyüklüğünü, np hatalı ürün miktarını göstermek üzere p çizelgesinin kontrol limitlerinin hesaplanmasında kullanılan formüller şu şekildedir;

$$\bar{p} = (np_1 + np_2 + \dots np_n) / (n_1 + n_2 + \dots n_n) \quad (6.12)$$

$$\bar{U}KL_p = \bar{p} + 3[\{\bar{p}(1-\bar{p}) / n\}^{1/2}] \quad (6.13)$$

$$AKL_p = \bar{p} - 3[\{\bar{p}(1-\bar{p}) / n\}^{1/2}] \quad (6.14)$$

Limitleri yukarıda verilen formüller kullanılarak hesaplanan p kontrol çizelgesi de $\bar{X}$ &R çizelgesine benzer adımlar takip edilerek oluşturulmaktadır.

Numune Sayısı	1000	11	2	4	8	13	6	7	3	9	5	7	12	14	5	9	2	6	5	9
Hatalı Parça Sayısı (np)	7	11	2	4	8	13	6	7	3	9	5	7	12	14	5	9	2	6	5	9
% Hatalı Parça (p)	.007	.011	.002	.004	.008	.013	.006	.007	.003	.009	.005	.006	.010	.011	.004	.007	.002	.006	.005	.009

The p-chart displays the percentage of defective parts ($\bar{p}$) for 20 samples. The center line is at $\bar{p} = 0.0075$. The upper control limit (ÜKL) is at 0.014, and the lower control limit (AKL) is at 0. The data points are as follows:

Numune Sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
% Hatalı Parça (p)	.007	.011	.002	.004	.008	.013	.006	.007	.003	.009	.005	.006	.010	.011	.004	.007	.002	.006	.005	.009

2) np Kontrol Çizelgesi

$$\bar{np} = (np_1 + np_2 + + np_k) / k \quad (6.15)$$

$$\ddot{\mathbf{U}}_{\mathbf{KL}_{np}} = n\bar{p} + 3[\{\bar{n}p[(1 - \bar{n}p) / n]\}^{1/2}] \quad (6.16)$$

$$\mathbf{AKL}_{np} = n\bar{p} - 3[\{\bar{np}[(1 - \bar{np}) / n]\}^{1/2}] \quad (6.17)$$

Kontrol çizelgesinde ortalama $\bar{np}$ ve kontrol limitleri çizildikten sonra hesaplanan np değerleri çizelge üzerinde işaretlenir. Çizelgede öncelikle kontrol dışı koşullara dikkat edilir. Kontrol dışı koşullar varsa özel nedenleri tespit edilerek, kontrol dışı veriler çizelgeden çıkartılır ve kontrol limitleri tekrar hesaplanır.

3) u Kontrol Çizelgesi

p veya np çizelgeleri sadece uygun olanlar ve uygun olmayanlar şeklinde iki durumu gözlemlemektedir. Daha karmaşık durumların takibinde ise genellikle u ve c çizelgeleri kullanılmaktadır. u çizelgesi her bir birimdeki uygunsuzlukların sayısını (ürün başına düşen hata sayısını) kontrol etmektedir. u çizelgesi c çizelgesine benzer, ancak u çizelgesinde uygunsuzluklar bir birim başına ifade edilmektedir. u çizelgesi oluşturulurken diğer kontrol çizelgelerinde takip edilen adımlar uygulanır. Ancak farklı olarak kontrol limitlerinin ve birim başına uygunsuzlukların ortalamasının hesaplanmasında aşağıdaki formüller kullanılır; [30]

$$\bar{u} = (c_1 + c_2 + \dots + c_k) / (n_1 + n_2 + \dots + n_k) \quad (6.18)$$

$$\bar{U}KL_u = \bar{u} + 3[(\bar{u} / n)^{1/2}] \quad (6.19)$$

$$AKL_u = \bar{u} - 3[(\bar{u} / n)^{1/2}] \quad (6.20)$$

4) c Kontrol Çizelgesi

c çizelgesi alınan örnek büyüklüğündeki uygunsuzlukların sayısını (ürünler üzerindeki hata sayısı) kontrol etmek için kullanılan bir çizelgedir. c çizelgesi de u çizelgesine benzer şekilde hazırlanmakta ve aşağıdaki formüller kullanılarak kontrol limitleri hesaplanmaktadır [30].

$$\bar{c} = (c_1 + c_2 + \dots + c_k) / k \quad (6.21)$$

$$\bar{U}KL_c = \bar{c} + 3[(\bar{c})^{1/2}] \quad (6.22)$$

$$AKL_c = \bar{c} - 3[(\bar{c})^{1/2}] \quad (6.23)$$

6.3 - İstatistiksel Proses Kontrolün Uygulama Aşamaları

İPK yönteminin uygulama aşamasında yapılan ilk işlem, yöntemin uygulanacağı prosesin tanımlanmasıdır. Tanımlamada proses akış şemaları gibi araçlardan yararlanmak mümkündür.

İPK uygulamasındaki ikinci aşama ise proseste kontrol edilecek karakteristiklerin tanımlanmasıdır. Bu amaçla teknik resimler üzerinde proses kontrol parametreleri belirlenip sınıflandırılmalıdır. Söz konusu sınıflandırma, karakteristiklere / ölçülere verilen toleranslara göre yapılmaktadır. Yapılan sınıflandırma ve sıralama işleminden sonra, ürün için en yüksek öneme sahip karakteristikler ele alınarak bu karakteristikleri temsil eden ölçüm parametreleri (uzunluk, hacim, basınç, ağırlık vb.) ile uygun ölçüm birimi ve buna ait ölçek tespit edilmelidir.

Üçüncü aşamada ise kullanılacak ölçü aletlerinin doğru değerleri yansıtabilmesi için kontrolünün ve gerekiyorsa kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Ölçü aletlerinin seçiminde, hassasiyet, kesinlik, kapasite ve yanıt verme süresi kriterlerine dikkat edilmelidir.

Dördüncü aşamada yeterlilik analizi yapılmalıdır. Yeterlilik analizi, makine yeterlilik analizi ve proses yeterlilik analizi olarak iki gruba ayrılmaktadır. Makine yeterliliği, aynı proses koşullarında (örneğin; aynı operatör, homojen hammadde, kesintisiz çalışma vs.) tekrar üretilebilirlik olarak ifade edilmektedir. Bir ürünün bir makineye bağlı olarak gerçekleşen bütün özellikleri bu makinenin yeterliliği ile ilgilidir. Bu özellikler, fiziksel ve kimyasal olabilir. Makine yeterliliği, üretilen üründen sürekli olarak yeterli sayıda örnek alınıp, bunlar ölçülerek ve temel istatistik uygulanarak incelenebilmektedir [29].

Bir prosesin yeteneği ise; prosesin sağlayabildiği en az kalite değişkenliği olarak tanımlanmaktadır. Proses yeteneği, insan, cihaz, malzeme, metot ve çevre faktörlerine bağlı olup bu faktörlerin değişiminden etkilenmektedir.

Proses yeterliliği; prosesin değişkenliğinin, ürünün toleransına ne oranda uyduğunun ölçüsüdür. Bir başka ifade ile, proses performansının tolerans limitleri ile bağlantısını irdelleyen bir karşılaştırmadır ve yetenek indeksleri ile açıklanır [29].

Normal olasılık dağılımını izleyen bir proseste proses verimliliğindeki toplam değişkenlik, $6\hat{\sigma}$ (standart sapma) ile ifade edilmektedir. Buda üretilen parçaların yaklaşık %99,7'sinin $\pm 3\hat{\sigma}$ aralığındaki alanın içinde olduğunu göstermektedir. Proses yeterliliği ise toplam değişkenlik ($6\hat{\sigma}$) ile spesifikasyon toleranslarını karşılaştırmaktadır. Burada önemli olan nokta, prosesin, istatistiksel olarak spesifikasyonları karşılayabilecek malzemeler üretmek için yeterliliği olup olmadığının tespit edilmesidir [30]

Proses yeterlilik analizinde normal dağılımlar içinde C_p ve C_{pk} olarak gösterilen proses yeterlilik indekslerinden faydalanılmaktadır. Proses yeterlilik indeksi C_p , prosesin yayılımının spesifikasyon limitleri ile olan ilişkisini belirlerken, C_{pk} ise, proses ortalamasının hedef olan nominal değer ile ilişkisini irdelemektedir. C_p ve C_{pk} indeksleri proses yeteneğinin uygunluğunun sayısal olarak değerlendirilmesidir. Eğer C_p ve $C_{pk} > 1,33$ ise proses tamamen spesifikasyonları karşılayabilecek yetenektedir denir. $C_p \leq 1,33$ ve $C_{pk} > 1,0$ ise proses kabul edilir. Ancak bu proses, spesifikasyonları karşılamada zorluk çekmektedir. C_p ve $C_{pk} \leq 1$ olması halinde ise proses yetersiz olmaktadır [29].

C_p ve C_{pk} değerlerini aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplamak mümkün olmaktadır.

$$C_p = \text{Toplam Spesifikasyon Toleransı} / 6\hat{\sigma} \quad (6.24)$$

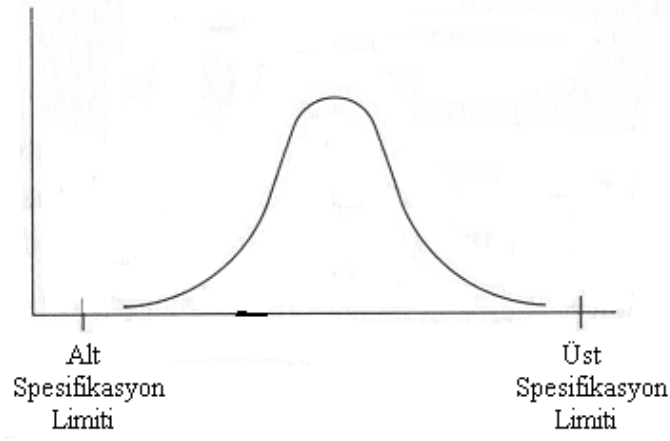
$$C_{pk} = \min (C_{pu} , C_{pl}) \quad (6.25)$$

$$C_{pu} = (\bar{ÜSL} - \bar{X}) / 3\hat{\sigma} \quad (6.26)$$

$$C_{pl} = (\bar{X} - ASL) / 3\hat{\sigma} \quad (6.27)$$

ÜSL: Üst spesifikasyon limiti, ASL: Alt spesifikasyon limiti

Eğer proses için $C_p = C_{pk}$ olursa prosesin spesifikasyon tolerans aralığını Şekil 6.2'te de görüldüğü gibi merkezlediği anlaşılır.



Şekil 6.2: Proses yeterliliğinin (1,33) spesifikasyon limitlerini merkezlemesi

Fakat genellikle $C_p < C_{pk}$ olduğu görülmektedir. Bu durumda prosesin C_p ve C_{pk} arasındaki fark oranında merkezden kaymış olduğu anlaşılır. C_p asla C_{pk} dan büyük olamazken, C_{pk} 'nın (-) negatif değerlerde olması ise prosesin tolerans bölgesi dışına kaydığını göstermektedir. Sonuç olarak, üretim proseslerine uygun İPK yöntemleri uygulanarak proseslerin kontrol altında tutulması sağlanırken, üretim verimliliği de arttırılmış olur [29].

7 – ŞİŞECAM ANADOLU CAM SANAYİİ A.Ş. TOPKAPI FABRİKASINDA SAHA UYGULAMASI

7.1 – Türkiye de Cam Ambalaj Üretimi

1935 yılında 3000 tonluk kapasite ile üretime başlayan Türkiye'nin ilk cam üretim tesisi İstanbul, Paşabahçe'de kurulan Şişecam; bugün farklı taleplere cevap veren kalitedeki üretim anlayışı ve sürekli yenilenen teknolojisiyle, Dünyada ve Avrupa'da cam endüstrisinin önde gelen kuruluşları arasındadır. Bugün Şişecam topluluğu; düzcam, cam ambalaj, cam ev eşyası, metal ve kimyasallar olmak üzere dört ana grupta faaliyet göstermektedir.

Şişecam topluluğu bünyesinde bulunan Cam Ambalaj Grubu; farklı ürün yelpazesi ile gıda, su-maden suyu, meşrubat- meyve suyu, süt, bira, şarap ve diğer yüksek alkollü içecekler ile ecza ve kozmetik sektörlerine çeşitli hacim ve renklerde ambalaj üreterek yurtiçi talebin tamamını karşılamakta, yurtdışında Avrupa, ABD ve Rusya'da yeni Pazar ve müşterilere ulaşmaktadır.

Ambalaj grubu bünyesinde faaliyet gösteren Anadolu Cam Sanayi A.Ş. ve Topkapı Şişe Sanayi A.Ş.'nin 2000 yılında Anadolu Cam Sanayi A.Ş. adı altında birleşmeleri ile teknoloji, üretim ve kapasite açısından oluşturulan sinerji, pazarlama ve satış faaliyetlerinde olumlu gelişmeler meydana getirmiştir.

Üretim tesislerinde cam ambalaj üretimindeki son teknolojileri kullanarak, NNPB (Narrow Neck Press Blow) prosesi ile hafifletilmiş, üç ana renk (beyaz, yeşil, bal) dışında forehearth renklendirmesi ile de diğer renklerde üretim yapılabilmektedir.

Bugün Anadolu Cam Sanayi A.Ş. bünyesindeki fabrikalarda, müşteri taleplerine göre 8 cc.'den 8000 cc'ye kadar değişik hacimlerde ve çok değişik ürün yelpazesinde üretim yapılmakta ve ürün özelliklerine göre çeşitli baskı ve yüzey kaplamaları uygulanabilmektedir.

Anadolu Cam Sanayi A.Ş.; Mersin, Topkapı ve Çayırova fabrikaları ile yaklaşık 2,5 milyar adet şişe ve kavanoz şeklinde ifade edilebilen, yıllık 520.000 ton cam ambalaj üretim kapasitesine sahiptir. Ayrıca Trans-Kafkasya ülkelerindeki mevcut talep ve potansiyel dikkate alınarak, Gürcistan'ın başkenti Tiflis'te kurulan Joint Stock Company Mina cam ambalaj fabrikası bu bölgedeki üretim pazarlama faaliyetlerini sürdürürken, Anadolu Cam Sanayi A.Ş.'ye bağlı olan Rusya – Ruscam fabrikası da 2002 yılında faaliyete geçmiştir [31].

Anadolu Cam Sanayi A.Ş. bünyesinde bulunan fabrikalardan;

Mersin Fabrikası: 1973 yılında 34.000 ton / yıl kapasiteyle üretime geçmiş olup, şu anda üç fırın ve 11 I.S. makinesi ile 800 ton / gün kapasiteyle çalışmaktadır.

Çayırova Fabrikası: 1995 yılında 70.000 ton / yıl kapasiteyle İzmit Çayırova'da kurulan Çayırova Cam Ambalaj Fabrikasında biri 8, ikisi 12 seksiyonlu üç I.S. makinesi ile yeşil renkli cam ambalaj üretilmektedir.

Topkapı Fabrikası: Şişecam Cam Ambalaj grubunun ilk fabrikası olan Topkapı fabrikası 1969 yılında İstanbul Topkapı mevkiinde faaliyete geçmiştir. Başlangıçta iki fırın ile 65.000 ton / yıl cam ambalaj üretim kapasitesine sahip olan fabrika şimdilerde üç fırın ile yılda 226.000 tonluk bir kapasiteye ulaşmış bulunmaktadır. Anadolu Cam Sanayi A.Ş. Topkapı fabrikasında, renksiz ve bal renkli şişe ile kavanoz üretimi gerçekleştirilmektedir.

Tamamı doğal gaz ile çalışan, arkadan ateşlemeli olan fırınlar toplam 620 ton / gün' lük cam çekiş kapasitesine sahiptir. 2001 Mayıs ayında devreye girmiş olan fırın ile birlikte hat sayısı 11'den 14'e, günlük cam çekiş kapasitesi de 820 tona yükseltilmiştir. Topkapı cam ambalaj fabrikası, 17 gr.'dan 2,33 kg'a kadar değişen ağırlık ve dizaynlarda 350 değişik ürünü imal edebilecek şekilde donatılmıştır [32].

7.2 – Topkapı Şişe Fabrikası A – 3 Üretim Hattı Profili

Bu tez çalışması kapsamında istatistiksel proses kontrol ve üretim takip sistemi olarak ifade edilen proses kontrol tekniklerinin uygulaması Anadolu Cam San. A.Ş. Topkapı şişe fabrikasında bulunan A fırınının A – 3 no'lu ecza şişesi üretim hattında gerçekleştirilmiştir. A – 3 hattının şematik görüntüsü Şekil – 7.1'de verilmiştir.

10 cc. ile 150 cc. arasında değişen, farklı hacim ve boyutlarda ecza şişelerinin üretildiği A-3 hattında şekilden de görüldüğü üzere 171 ton / gün cam üretim kapasitesine sahip bir ergitme fırını, 8 kollu 4*1/4" ölçülerinde bir şekillendirme (I.S.) makinesi ve çeşitli otomatik kalite kontrol sistemleri bulunmaktadır. Ecza şişelerinin üretildiği A-1, A-2 ve A-3 hatlarının tavlama fırınları çıkışı ile otomatik ayırma, paketleme işlemi bölgesi, mamullerin ortam şartları nedeniyle kirlenmesini önlemek amacıyla kapalı hacim temiz oda içine alınmış ve bu hacimde kontrollü ortam şartları oluşturularak tozsuzlaştırma uygulanmıştır. Havalandırma sisteminde yer alan aspiratör hücreleri, soğutma fırınlarından çıkan ürünlerin ortama yaydığı ısıyı uzaklaştırmakta, klima santralleri ise özel filtreleri ile 0,5 µ'dan büyük partikülleri % 95 oranında tutarak oda içindeki uçucu katı partikül konsantrasyonunu çok düşük seviyelere indirmektedir. Bu şekilde oluşturulan bu temiz odada ecza şişelerinin hijyenik şartlarda üretilmesi sağlanmıştır [33].

A – 3 hattında bulunan otomatik kalite kontrol makinelerini;

- ağız ve dip kontrolü makinesi ile kalıp numarası okuyucu istasyon,
- gövde kontrol makinesi,
- cam cidar kalınlığı ölçüm cihazı,
- ağız iç – dış master ve ağız çatlağı kontrol makinesi olarak sıralamak mümkündür.

7.3 – İstatistiksel Proses Kontrol’ ün A – 3 Hattındaki Uygulaması

7.3.1 – Ölçülebilen Karakteristik için Kontrol Çizelgesi Oluşturulması

Bölüm 6’da da açıklandığı gibi endüstride yaygın olarak kullanılan istatistiksel proses kontrol tekniklerinden biri de kontrol çizelgeleridir. Kontrol çizelgelerinin de ölçülebilen karakteristikler (ağırlık, uzunluk ...vb) ve ölçülemeyen karakteristikler (çatlak, kırık ... vb. hatalar) için hazırlanan çizelgeler şeklinde iki gruba ayrıldığı belirtilmişti.

Anadolu Cam Sanayi A.Ş. Topkapı fabrikasında yapılan çalışmada, A-3 ecza şişesi hattının, kontrol çizelgesi kullanılarak proses kontrolü yapılmıştır. A-3 hattı üretim prosesinin kontrolünde ölçülebilen karakteristik olarak şişelerin ağırlıkları, ölçülemeyen karakteristik olarak hatalı şişe sayıları değerlendirmeye alınmıştır. A-3 hattında 8 kollu bir I.S. şekillendirme makinesi bulunmakta olup, her bir kola iki kalıp bağlıdır. Dolayısıyla I.S. makinesinde önde ve arkada olmak üzere toplam 16 kalıp bulunmaktadır. A-3 hattında üretilmekte olan şişelerin ağırlıkları kullanılarak kontrol çizelgesi oluşturmak amacıyla, her bir kalıptan birer numune olacak şekilde belirli periyotlarla şişe numuneleri alınıp, hassas elektronik bir terazide ağırlık ölçümleri yapılmış ve elde edilen veriler tablo halinde belirtilmiştir.

Yapılan çalışmada, hesaplamalar sonucunda, şişe ağırlıkları için $\bar{X}$ & R kontrol çizelgesi oluşturulmuştur. Şişe ağırlıkları kullanılarak hazırlanan $\bar{X}$ & R kontrol çizelgesiyle proses kontrolünün yanı sıra, ölçümler başladıktan kısa bir süre sonra A-3 hattında devreye alınan servo feeder’in (elektronik damla besleyici) ağırlık değişimlerine etkisinin de tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Servo feeder devreye girmeden önce yapılan ölçümlerde kullanılan şişenin teknik çizimi Şekil 7.2’de gösterilmektedir.

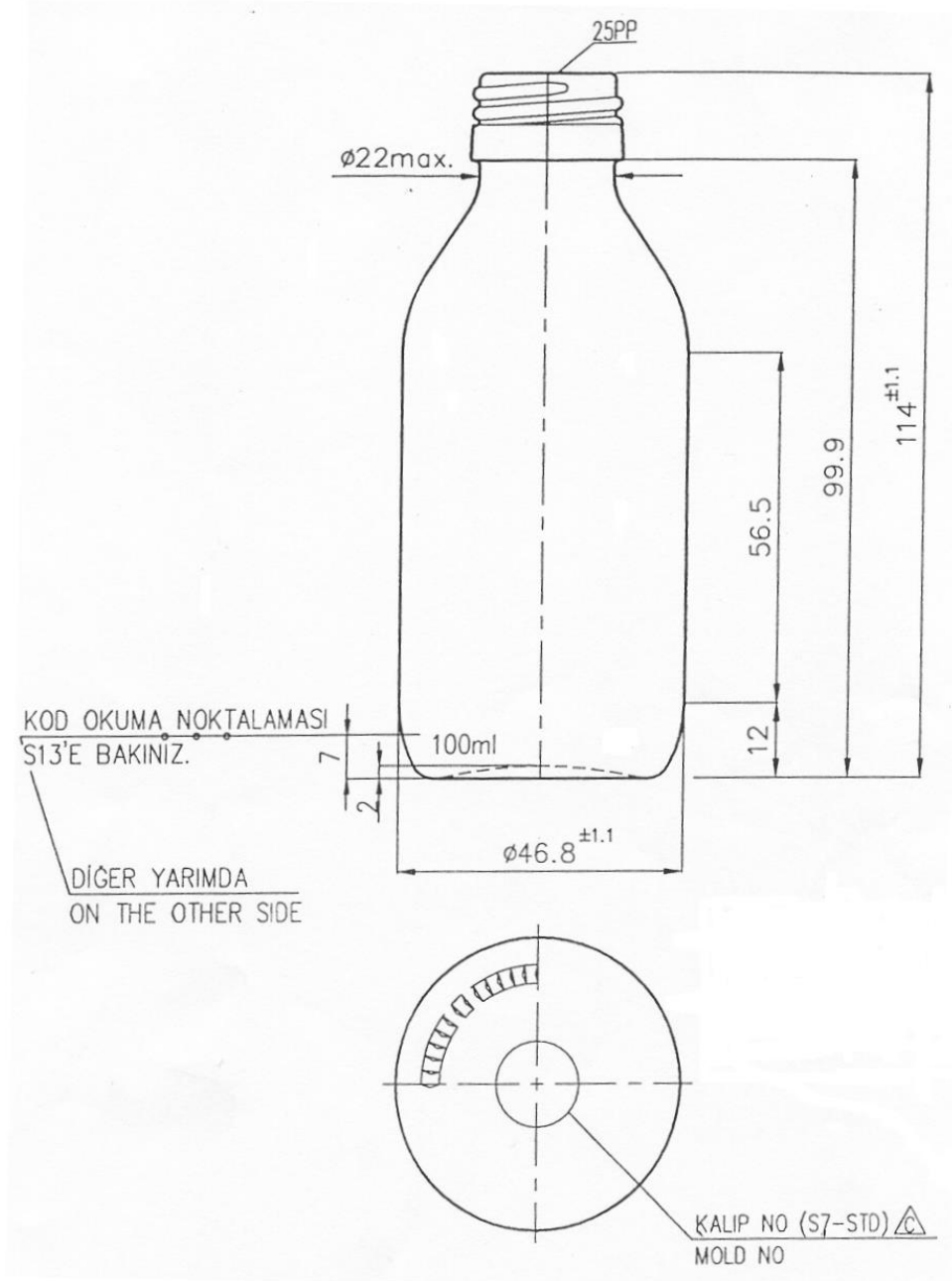
Şişe Özellikleri

Kod No : 71 65 10

Cinsi : 100 cc. Bal Rengi Ecza Şişesi

Dolma Hacim : $115 \pm (3,5)$ cc

Ağırlık : $95 \pm (5,5)$ gr.



Şekil 7.2: 71 65 10 kodlu ecza şişesinin teknik çizimi.

Servo feeder öncesinde yapılan şişe ağırlığı ölçüm sonuçları arka kalıp ve ön kalıp için Tablo 7.1 ve Tablo 7.2’de gösterilmiştir.

Tablo 7.1: Servo feeder öncesi arka kalıp için şişe ağırlığı ölçümü sonuçları (gr).

									Tarih:	20.02.2002	
Saat:	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	15:15	15:45	
Kol No											
1	94	94.5	94.5	94	95	95	96	94.5	95.5	95.5	
2	94	94.5	95	94	95.5	95	96	94.5	95	96	
3	94.5	94	95	94	95	95	95.5	94.5	95	96	
4	95	95	95	94	95.5	95	95	93.5	95.5	94.5	
5	94	95	95	94	94.5	94.5	95.5	94.5	95	95.5	
6	94.5	94.5	94.5	94.5	95.5	95.5	95.5	94.5	95	96	
7	95	94.5	95	94.5	95	94.5	95.5	94.5	95	96	
8	95	94	95	94.5	95.5	96	96	95	95.5	96.5	
Toplam:	756	756	759	753.5	761.5	760.5	765	755.5	761.5	766	
$\bar{x}$ (ortalama)	94.5	94.5	94.87	94.18	95.18	95.06	95.62	94.43	95.18	95.75	
Aralık R	1	1	0.5	0.5	1	1.5	1	1.5	0.5	2	

Hesaplamalar:

$$\bar{X} = \sum \bar{x} / k, \quad \bar{X} = 949,27 / 10, \quad \bar{X} = 94,92 \quad \bar{R} = \sum R / k, \quad \bar{R} = 10,5/10, \quad \bar{R} = 1,05$$

k: grup sayısı =10, n: örnek büyüklüğü = 8

$$\bar{U}KL_X = \bar{X} + A_2\bar{R}, \quad 94,92 + 0,373 \times 1,05 \quad \bar{U}KL_X = 95,31$$

$$AKL_X = \bar{X} - A_2\bar{R}, \quad 94,92 - 0,373 \times 1,05 \quad AKL_X = 94,52$$

$$\bar{U}KL_R = D_4\bar{R}, \quad 1,86 \times 1,05 \quad \bar{U}KL_R = 1,953$$

$$AKL_R = D_3\bar{R}, \quad 0,14 \times 1,05 \quad AKL_R = 0,147$$

Proses Yeterliliği:

$$\hat{s}: \text{standart sapma}, \quad d_2: \text{katsayı} \quad \hat{s} = \bar{R} / d_2 \quad 1,05 / 2,847 \quad \hat{s} = 0,368$$

$$C_{pk} = \min (C_{pu}, C_{pl}) \quad C_{pl} = (\bar{X} - ASL) / 3\hat{s} \quad C_{pu} = (\bar{U}SL - \bar{X}) / 3\hat{s}$$

ASL: Alt spesifikasyon limiti, ÜSL: Üst spesifikasyon limiti

$$C_{pl} = (94,92 - 89,5) / 1,104 \quad C_{pl} = 4,9, \quad C_{pu} = (100,5 - 94,92) / 1,104 \quad C_{pu} = 5,05$$

$C_{pk} = \min (5,05, 4,9) \quad C_{pk} = 4,9 > 1,33$ olduğu için proses spesifikasyonları karşılayabilecek yetenektir.

Yeterliliği tespit edilen bir proses Şekil 6.2’de gösterildiği şekilde normal bir olasılık dağılımı göstermektedir. Bu da, üretilen ürünlerin % 99,7’sinin $\bar{X} \pm 3\hat{\sigma}$ aralığındaki limitler içinde kaldığını ifade etmektedir. Dolayısıyla ampirik formüller ile hesaplanan kontrol limitlerinin yanı sıra standart sapmaya göre hesaplanan kontrol limitlerinin de çizelgede belirtilmesinin, proses kontrolünün sağlıklı bir şekilde yapılmasına katkı sağlayacağı düşünülmüştür. Buna göre standart sapma ile hesaplanan kontrol limitleri;

$$\bar{U}KL_s = 94,92 + 3 \times 0,368 \quad \bar{U}KL_s = 96,02$$

$$AKL_s = 94,92 - 3 \times 0,368 \quad AKL_s = 93,81$$

Yukarıda hesaplanan kontrol limitleri ve her bir alt grubun $\bar{X}$ değerleri kontrol çizelgesinde işaretlenerek, arka kalıp için $\bar{X}$ & R grafiği Şekil 7.3’te gösterildiği gibi oluşturulmuştur. Aynı şekilde Tablo 7.2’de gösterilen ön kalıplar için ağırlık ölçüm sonuçları kullanılarak ta gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 7.2: Servo feeder öncesi ön kalıp için şişe ağırlığı ölçüm sonuçları (gr.).

								Tarih:	20.02.2002	
Saat:	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	15:15	15:45
Kol No										
1	95	95	95	94.5	95.5	95.5	96.5	95	96	96.5
2	95.5	95.5	95	94.5	95.5	95.5	96.5	95.5	95.5	97
3	95.5	95	95	94.5	95.5	96	97	95.5	96	96.5
4	95.5	95	95	94.5	95.5	95.5	96	95.5	96	96.5
5	95	95	95.5	94.5	95.5	95.5	96.5	95.5	96	97
6	95	95	95	94	95.5	95.5	96.5	95.5	96	96.5
7	95.5	95	95.5	94.5	95.5	96	96.5	95.5	95.5	96
8	94	94.5	95.5	94	95	95	95.5	94	95.5	95.5
Toplam:	761	760	761.5	755	763.5	764.5	771	762	766.5	771.5
$\bar{x}$ (Ortalama)	95.12	95	95.18	94.37	95.43	95.56	96.37	95.25	95.81	96.43
Aralık R	1.5	1	0.5	0.5	0.5	1	1.5	1.5	0.5	1.5

Hesaplamalar:

$$n = 8, \quad k = 10$$

$$\bar{\bar{X}} = 954,52 / 10, \quad \bar{\bar{X}} = 95,45 \quad \bar{R} = 10 / 10, \quad \bar{R} = 1$$

$$\bar{U}KL_X = 95,45 + 0,373 \times 1 \quad \bar{U}KL_X = 95,82$$

$$AKL_X = 95,45 - 0,373 \times 1 \quad AKL_X = 95,07$$

$$\bar{U}KL_R = 1,86 \times 1 \quad \bar{U}KL_R = 1,86$$

$$AKL_R = 0,14 \times 1 \quad AKL_R = 0,14$$

Proses Yeterlilik:

$$\hat{s} = 1 / 2,847 \quad \hat{s} = 0,351 \quad C_{pl} = (95,45 - 89,5) / 1,053 \quad C_{pl} = 5,65$$

$$C_{pu} = (100,5 - 95,45) / 1,053 \quad C_{pu} = 4,79 \quad C_{pk} = \min(4,79, 5,65) \quad C_{pk} = 4,79 > 1,33$$

olduğu için proses spesifikasyonları karşılayabilecek yetenektedir.

$$\bar{U}KLs = 95,45 + 3 \times 0,351 \quad \bar{U}KLs = 96,5$$

$$AKLs = 95,45 - 3 \times 0,351 \quad AKLs = 94,4$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen kontrol limitleri ve $\bar{X}$ değerleri çizelgede işaretlenerek ön kalıp için Şekil 7.4'te gösterilen $\bar{X}$ &R kontrol çizelgesi oluşturulmuştur.

Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'te gösterilen arka ve ön kalıplara ait $\bar{X}$ &R kontrol çizelgeleri incelendiğinde, I.S makinesinde bulunan 8 arka ve 8 ön kalıpta şekillendirilen şişelerin ağırlık değişimlerinin birbirine benzer bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Her iki kontrol çizelgesinde de şişe ağırlıklarındaki değişimler standart sapmaya göre hesaplanan proses kontrol limitleri içinde kalmaktadır. Bu da, normal olasılık dağılımı gösteren bir proseste ürünlerin % 99,7'si $\bar{X} \pm 3\hat{s}$ limitleri arasında kalır ifadesini doğrulamıştır. 4,5 saatlik bir periyot içinde şişe ağırlıkları için yapılan bu pilot çalışmada, zaman zaman şişe ağırlıklarında değişiklikler olsa da genelde değişimlerin proses limitleri içinde kaldığı tespit edilmiştir. Ön ve arka kalıplar için hazırlanan bu kontrol çizelgelerinden, ön ve arka kalıba düşen damla ağırlıkları arasında kayda değer bir fark olmadığı da tespit edilmiştir.

Şekil 7.4

Şişelerin ağırlıkları, kalitelerini etkileyen kritik parametrelerden biridir. Dolayısıyla, Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'te gösterilen kontrol çizelgeleri her imalat için oluşturularak, şişelerin ağırlık değişimlerinin sürekli olarak takip edilmesi gerekmektedir. Böylece, şişelerin ağırlıklarında, kontrol limitlerinin dışına çıkma yönünde bir eğilim görüldüğünde, makineye zamanında müdahale edilebilecek ve prosesin kontrol dışına çıkarak hatalı mamul üretmesi engellenmiş olacaktır. Kontrol çizelgelerinin Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'tekine benzer şekilde kontrol limitleri içinde sinisoidal bir eğri çizmesi prosesin normal bir olasılık dağılımı içinde kontrol altında olduğunu göstermektedir.

Servo feeder devreye alındıktan sonrası yapılan ölçümlerde ise Şekil 7.5'te teknik çizimi gösterilen 71 63 10 no'lu ecza şişesi kullanılmıştır.

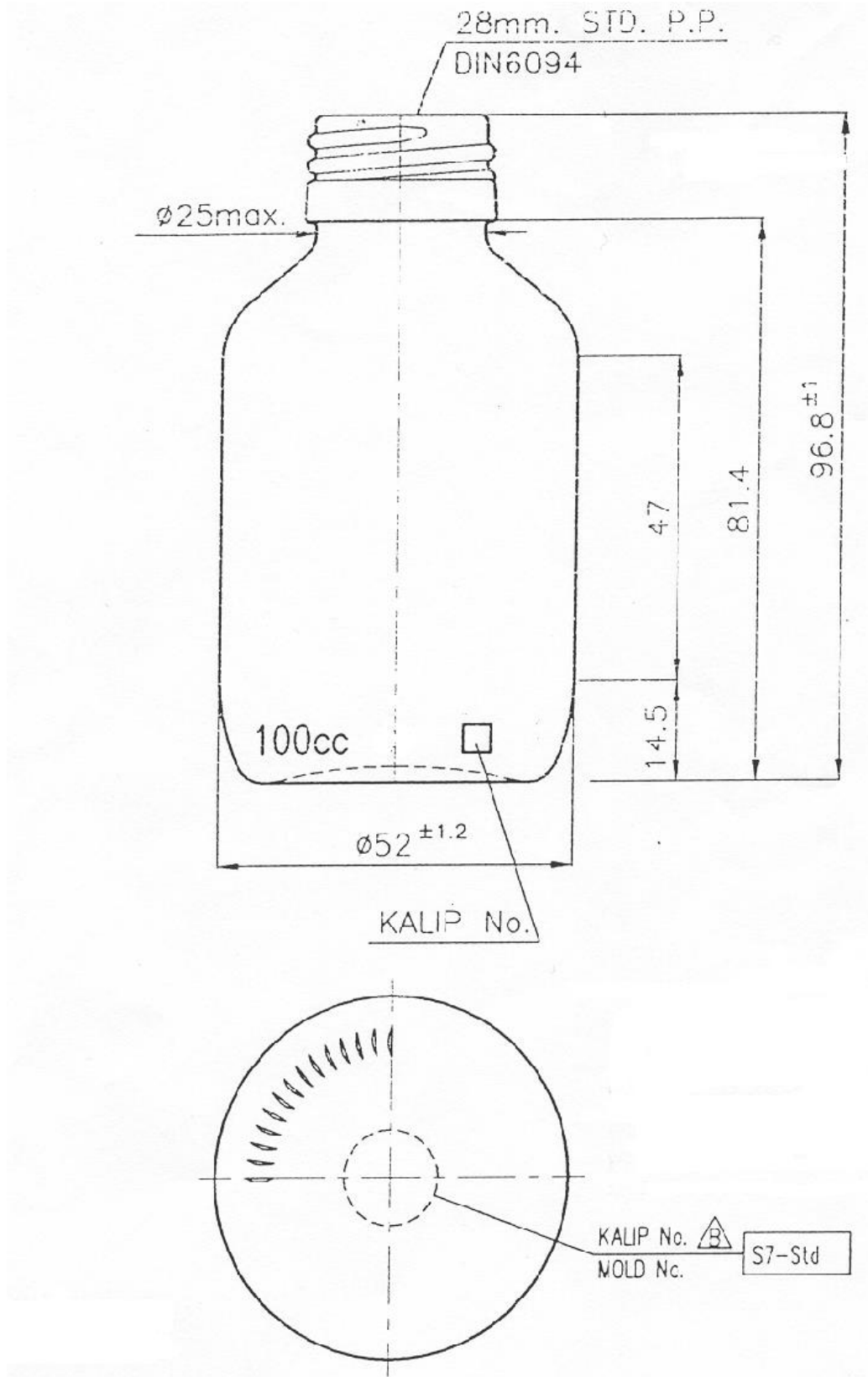
Şişe Özellikleri:

Kod No : 71 63 10

Cinsi : 100 cc Bal Rengi Ecza şişesi

Dolma Hacim : 118 ($\pm 3,5$)cc

Ağırlık : 100 (± 5) gr.



Şekil 7.5: 71 63 10 kodlu ecza şişesinin teknik çizimi

Servo feeder devreye girdikten sonra yapılan şişe ağırlığı ölçüm sonuçları da Tablo 7.3 ve Tablo 7.4'te verilmiştir.

Tablo 7.3: Servo feeder sonrası arka kalıp için şişe ağırlığı ölçüm sonuçları (gr.).

								Tarih:	06.03.2002	
Saat:	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30
Kol No.										
1	100	101	100	100	100	100	101	100	99	99
2	100.5	100.5	99.5	100	100	100.5	101.5	101	98	99
3	100.5	100.5	99.5	100.5	99.5	100.5	100.5	100.5	99	99.5
4	100.5	101	99.5	100.5	99.5	101	101	101	98.5	99.5
5	100	100.5	99.5	100	100	101	101	101	98.5	99
6	100.5	100	100	100.5	100	100.5	100	100.5	98.5	99.5
7	100	101	99.5	100	99	100	100.5	100	98.5	99
8	99.5	100.5	99.5	100	99.5	100	100.5	100	98.5	98.5
Toplam (X):	801.5	805	797	801.5	797.5	803.5	806	804	788.5	793
$\bar{X}$ (ortalama)	100.18	100.62	99.62	100.18	99.68	100.43	100.75	100.5	98.56	99.12
Aralık R	1	1	0.5	0.5	1	1	1.5	1	1	1

Hesaplamalar:

$$n = 8, \quad k = 10$$

$$\bar{X} = 999,6 / 10 \quad \bar{X} = 99,96 \quad \bar{R} = 9,5 / 10 \quad \bar{R} = 0,95$$

$$\bar{U}KL_X = 99,96 + 0,373 \times 0,95 \quad \bar{U}KL_X = 100,31$$

$$AKL_X = 99,96 - 0,373 \times 0,95 \quad AKL_X = 99,6$$

$$\bar{U}KL_R = 1,86 \times 0,95 \quad \bar{U}KL_R = 1,77$$

$$AKL_R = 0,14 \times 0,95 \quad AKL_R = 0,13$$

Proses Yeterlilik:

$$\hat{s} = 0,95 / 2,847 \quad \hat{s} = 0,33$$

$$C_{pl} = (99,96 - 95) / 0,99 \quad C_{pl} = 5,01 \quad C_{pu} = (105 - 99,96) / 0,99 \quad C_{pu} = 5,09$$

$C_{pk} = \min(5,01, 5,09) \quad C_{pk} = 5,01 > 1,33$ olduğu için proses spesifikasyonları karşılayabilecek yetenektedir.

$$\bar{ÜKL}_S = \bar{X} + 3\hat{s} = 99,96 + 0,99 \quad \bar{ÜKL}_S = \mathbf{100,95}$$

$$\bar{AKL}_S = \bar{X} - 3\hat{s} = 99,96 - 0,99 \quad \bar{AKL}_S = \mathbf{98,97}$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen kontrol limiti değerleri ve $\bar{X}$ değerleri $\bar{X}\&R$ kontrol çizelgesinde işaretlenerek Şekil 7.6'da gösterilen çizelge oluşturulmuştur.

Tablo 7.4: Servo feeder sonrası ön kalıp için şişe ağırlığı ölçüm sonuçları (gr.).

									Tarih:	06.03.02
Saat:	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30
1)	100	101	100	100	100.5	101	102	101	99.5	98.5
2)	101	100.5	100	100.5	101	101	102.5	101.5	99	99
3)	101	100.5	100.5	100.5	101	102	101.5	101.5	99.5	99.5
4)	101	100.5	99.5	101	100.5	101.5	101.5	102	99	99
5)	100	100.5	99.5	100.5	101	102	101.5	101.5	99	99
6)	101	100.5	100	100.5	100.5	102	101.5	101.5	99	99
7)	100.5	101	100	100	100.5	101	101.5	101	99	98.5
8)	100	100.5	100	100.5	100.5	101	101.5	101.5	99	98.5
Toplam (X):	804.5	805	799.5	803.5	805.5	811.5	813.5	811.5	793	791
$\bar{x}$ (ortalama)	100.6	100.6	99.93	100.4	100.7	101.4	101.7	101.4	99.12	98.87
Aralık, R	1	0.5	1	1	0.5	1	1	1	0.5	1

Hesaplamalar:

$$\bar{X} = 1004,7 / 10 \quad \bar{X} = \mathbf{100,47} \quad \bar{R} = 8,5 / 10 \quad \bar{R} = \mathbf{0,85}$$

$$\bar{ÜKL}_X = 100,47 + 0,373 \times 0,85 \quad \bar{ÜKL}_X = \mathbf{100,78}$$

$$\bar{AKL}_X = 100,47 - 0,373 \times 0,85 \quad \bar{AKL}_X = \mathbf{100,15}$$

$$\bar{ÜKL}_R = 1,86 \times 0,85 \quad \bar{ÜKL}_R = \mathbf{1,58}$$

$$\bar{AKL}_R = 0,14 \times 0,85 \quad \bar{AKL}_R = \mathbf{0,11}$$

Proses Yeterlilik:

$$\hat{s} = 0,85 / 2,847 \quad \hat{s} = \mathbf{0,298}$$

$$C_{pl} = (100,47 - 95) / 0,894 \quad C_{pl} = \mathbf{6,11} \quad C_{pu} = (105 - 100,47) / 0,894 \quad C_{pu} = \mathbf{5,06}$$

$C_{pk} = \min(5,06, 6,11)$ $C_{pk} = 5,06 > 1,33$ olduğu için proses spesifikasyonları karşılayabilecek yetenektir.

$$\bar{U}KLs = 100,47 + 0,894 \quad \bar{U}KLs = 101,36$$

$$\bar{A}KLs = 100,47 - 0,894 \quad \bar{A}KLs = 99,57$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen kontrol limiti ve $\bar{X}$ değerleri $\bar{X}\&R$ kontrol çizelgesine yerleştirilerek Şekil 7.7’de gösterilen grafik elde edilmiştir.

Şekil 7.6 ve Şekil 7.7’de gösterilen kontrol çizelgeleri incelendiğinde, I.S makinesindeki ön ve arka kalıplarda şekillendirilen şişelerin ağırlıklarında birbirine benzer bir değişim meydana geldiği görülmektedir. Ön kalıp için oluşturulan $\bar{X}\&R$ kontrol çizelgesi incelendiğinde saat: 11:00’den itibaren ön kalıplarda şekillendirilen şişelerin ağırlıklarında artış yönünde bir eğilim meydana geldiği görülmektedir. Kontrol çizelgelerinde limit çizgilerine doğru artma veya azalma yönünde meydana gelen bu tür eğilimler (trend), prosesin müdahale edilmediği taktirde kontrol dışına çıkacağının habercisidir. Kontrol çizelgelerinde net bir şekilde görülen bu durumu, operatör, proses kontrol dışına çıktıktan 30 dakika sonra fark edebilmiş ve gerekli ayarlamaları yaparak prosesi kontrol altına almaya çalışmıştır. Proses kontrol altına alınıncaya kadar geçen 60 dakikalık süre içinde şekillendirilen şişeler ise gereken ağırlık spesifikasyonlarını karşılamadıkları için hatalı kabul edilip reddedilmişlerdir. Benzer şekilde arka kalıp için hazırlanan kontrol çizelgesinde de saat: 12:00’den itibaren şişe ağırlıklarında artış yönünde bir eğilimi meydana gelmeye başlamış, ancak bu değişim kontrol limitleri içinde kalmıştır. Her iki kalıpta şekillendirilen şişelerin ağırlığındaki bu değişimin besleyici mekanizmada bulunan tüpün yükseklik ayarının değişmesinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Saat: 14:30’da yapılan ölçümde, arka kalıpta şekillendirilen şişelerde azalma yönünde meydana gelen ağırlık değişimlerinin, besleyicide gerekli ayarlamaların yapılması suretiyle giderildiği ve prosesin tekrar kontrol altına alındığı görülmüştür. Ancak, besleyicide yapılan ayarlama ile arka kalıp için şişe ağırlığının, kontrol limitleri içinde olması sağlanırken, ön kalıp için ağırlık değişiminin kontrol limitleri dışında kalmasına neden olunmuştur.

Ön ve arka kalıba düşen damla ağırlığının, ayrı ayrı ayarlanması mümkün değildir. Dolayısıyla besleyicide ki tüpün yüksekliği ayarlanarak arka ve ön kalıba giden damla miktarının optimum şekilde ayarlanmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak, bu iki tespitte göstermektedir ki, kontrol çizelgeleri kullanılarak prosesin gerçek zamanlı olarak takip edilmesi halinde, proseste meydana gelen değişimler, zamanında fark edilebilecek ve ürün kayıplarına neden olmadan, oluşması muhtemel hatalara zamanında müdahale etme imkanı bulunacaktır.

Servo feeder öncesi ve sonrasında şişe ağırlıkları ölçülerek hazırlanan çizelgeler kıyaslandığında ise servo feeder öncesinde yapılan ölçümlerde standart sapma değeri ortalama $\hat{s} = 0,359$ olarak hesaplanırken, servo feeder devreye alındıktan sonra yapılan ölçümlerde $\hat{s} = 0,315$ olduğu tespit edilmiştir. Servo feeder devreye alındıktan sonra standart sapma değerinin azalması, prosesin kontrol limitleri aralığının daralmasına neden olmakta proses daha dar bir alanda kontrol edilmektedir. Böylece, servo feeder'in etkisiyle şişe ağırlıklarının daha hassas olarak ayarlanmasına yönelik işletme beklentilerinin karşılandığı tespit edilmiş, daha dar limitler aralığında prosesin daha etkili kontrolüne katkı sağlanmıştır.

7.3.2 - Ölçülemeyen Karakteristikler için Kontrol Çizelgesi Oluşturulması

Cam ambalaj üretiminde ölçülemeyen karakteristik olarak, A-3 hattında üretilmekte olan ecza şişelerinde görülen hata türlerine göre, atılan şişe sayısı kullanılmıştır. Otomatik kontrol makineleri tarafından tespit edilen hata türlerine göre belli periyotlarla makinelerde test edilen şişe sayısı ve hatalı şişe sayısı tespit edilmiş ve gerekli hesaplamalardan sonra elde edilen sonuçlar kullanılarak p kontrol çizelgesi oluşturulmuştur. p kontrol çizelgeleri incelenen bir grup içindeki hatalı oranını ölçmek amacıyla kullanılan çizelgelerdir. Örnek sayısının fazla ve değişken olduğu incelemelerde p kontrol çizelgeleri proses kontrolü açısından daha sağlıklı yorum yapabilme imkanı vermesi nedeniyle tercih edilmiştir.

p kontrol çizelgesinin oluşturulması için A-3 hattında bulunan otomatik kalite kontrol makinelerinden alınan veriler kullanılmıştır. Buna göre, ağız kontrolünde, dip kontrolünde, gövde kontrolünde ve ağız iç-dış boyut ölçüm ve çatlak kontrolünde test edilen şişe sayısı ve hatalı şişe sayısı tespit edilip bu dört hata türü için p kontrol çizelgesi oluşturulmuştur.

Kontrol çizelgesinin oluşturulma amacı, prosesin hatalı ürün sayısı açısından kontrol altında olup olmadığını tespit etmekle birlikte, üretim esnasında şişelerde karşılaşılan hata türlerinin değişimini ve en çok karşılaşılan hata türünü de belirlemektir.

p kontrol çizelgelerinin oluşturulmasında, servo feeder devreye girdikten sonra yapılan ağırlık ölçümlerinde de kullanılmış olan ve teknik çizimi Şekil 7.5'te verilen 71 63 10 kodlu ecza şişesi kullanılmıştır.

Şişe Özellikleri:

Gövde Çapı: 52 ($\pm 1,2$) mm

Boy : 96,8 ($\pm 1,0$) mm

Kafa Std. : 28 mm

Tablo 7.5' te şişelerin ağzında görülen çatlak, iç – dış habbe, ağız kırığı gibi hatalar nedeniyle atılan şişe sayıları ve hesaplama sonuçları verilmiştir. Bu ölçümlerde şişe ağzında görülen hata sayısı değil hatalı şişe sayısı tespit edilmiştir. Dolayısıyla bir şişede birden fazla ağız hatasına rastlamak mümkündür.

Tablo 7.5: Şişelerde ağız hatası kontrolünün sonuçları.

Saat:	10:15	10:45	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	Toplam
n.	6242	6015	6218	5611	6352	6916	4033	6153	4692	5152	57384
np	62	53	20	22	38	76	17	64	60	35	447
% p	0.99	0.88	0.32	0.39	0.59	1.09	0.42	1.04	1.27	0.67	
% $\bar{p}$	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	
% ÜKLp	1.1	1.1	1.1	1.12	1.09	1.08	1.18	1.1	1.15	1.13	
% AKLp	0.43	0.43	0.43	0.41	0.44	0.45	0.35	0.43	0.38	0.4	

Hesaplamalar:

Yapılan ölçümlerde 30 dakikalık periyotlar ile ölçümler alınmıştır. Örnek sayısının değişken olması nedeniyle her bir grup için kontrol limitleri hesaplanarak proses kontrolünün sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi sağlanmıştır.

n : Her bir gruptaki örnek (şişe) sayısı

np: Her bir gruptaki hatalı şişe sayısı

p: Her bir gruptaki hatalı şişe oranı

$\% p = (np / n) \times 100$, her bir grup için %p değerleri hesaplanır

$\% p = (62 / 6242) \times 100$ **$\% p = 0,99$** aynı şekilde diğer gruplar içinde % p değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 7.5'te verilmiştir.

$$\% \bar{p} = (\Sigma np / \Sigma n) \times 100 = (447 / 57384) \times 100 \quad \mathbf{\% \bar{p} = 0,77}$$

$\bar{U}KL_p = \bar{p} + 3[\{\bar{p}(1 - \bar{p}) / n\}^{1/2}]$ formülü kullanılarak her bir grup için üst kontrol limiti hesaplanır.

$$\begin{aligned} \bar{U}KL_p &= 0,0077 + 3[\{0,0077(1 - 0,0077) / 6242\}^{1/2}] \\ &= 0,0077 + 3[\{0,0077(0,9923) / 6242\}^{1/2}] \\ &= 0,0077 + 0,00331 \end{aligned}$$

$\bar{U}KL_p = 0,011$ **$\% \bar{U}KL_p = 1,1$** aynı şekilde diğer gruplar içinde üst kontrol limitleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 7.5'e kaydedilmiştir.

$AKL_p = \bar{p} - 3[\{\bar{p}(1 - \bar{p}) / n\}^{1/2}]$ formülü ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} AKL_p &= 0,0077 - 3[\{0,0077(1 - 0,0077) / 6242\}^{1/2}] \\ &= 0,0077 - 3[\{0,0077(0,9923) / 6242\}^{1/2}] \\ &= 0,0077 - 0,00331 \end{aligned}$$

$AKL_p = 0,0043$ **$\% AKL_p = 0,43$** diğer gruplar için alt kontrol limiti değerleri aynı şekilde hesaplanarak Tablo 7.5'te verilmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen % p değerleri ve kontrol limitleri çizelgede işaretlenerek Şekil 7.8'de gösterilen p kontrol çizelgesi oluşturulmuştur. Çizelgede alt kontrol limiti olarak, hesaplamayla bulunan limit değerinin yanı sıra hedeflenen limit değeri de ($AKL_p = 0$) belirtilmiştir. Ayrıca kontrol limitleri çizilirken her bir grup için hesaplanan limit değerlerinin ortalaması alınarak, limit çizgisinin lineer bir doğru şeklinde olması sağlanmıştır.

Şekil 7.8’de gösterilen p kontrol çizelgesi incelendiğinde, genel olarak şişelerin ağız kısmında bulunan hata oranındaki değişimin, kontrol limitleri içinde kalacak şekilde bir dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Çizelgede ayrıca, başlangıçta hata oranında düşüş olduğu gözlenmiş, ancak, proseste hedeflenen hata oranı sıfır olduğu için hata oranının alt kontrol limitini aşmasına rağmen prosese müdahale etmeye gerek olmadığı düşünülmüştür. Saat: 11:15 - 12:45 arasında kalan zaman diliminde ise ağız hatasından dolayı reddedilen şişe oranında artış yönünde bir eğilim olduğu tespit edilmiştir. Operatörün hata oranındaki artışı fark ederek prosese müdahale etmesiyle prosesin kontrol dışına çıkması engellenmiştir. Ancak saat: 13:15 – 14:15 aralığında hata oranında tekrar artış olmuş ve operatörün prosese müdahalesinin gecikmesi nedeniyle ürün kaybı meydana gelmiştir. Bu örnekte de görüldüğü gibi kontrol çizelgelerinin, üretim esnasında meydana gelen değişimleri takip etme imkanı vermelerinin yanı sıra operatörlerin performansının takip edilmesine de olanak sağladığı belirlenmiştir.

Üretim esnasında kontrol makinelerinden, her bir hata türü için alınacak veriler ile kontrol çizelgeleri oluşturulması, imalat esnasında daha çok hangi hatalardan dolayı şişelerin reddedildiğinin tespitine imkan verecektir. Böylece proseste en çok karşılaşılan hata türleri belirlenerek, herhangi bir problem durumunda ilk olarak bu hatalar giderilecek ve proses daha kısa zamanda kontrol altına alınacaktır. Böylece proses verimliliğinde olumlu yönde değişim olacaktır.

Şişe diplerinde karşılaşılan habbe, taş, cam kırığı gibi hataların kontrol edildiği makineden alınan veriler ile test edilen ve dip hatasından dolayı atılan şişe sayısı tespit edilerek sonuçlar Tablo 7.6’da gösterilmiştir.

Tablo 7.6: Şişelerde dip hatası kontrolünün sonuçları.

Saat:	10:15	10:45	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	Toplam
n.	6270	5934	6114	5707	6364	6896	3951	6296	4730	5042	57304
np	39	28	28	21	28	51	21	35	18	28	297
% $\bar{p}$	0.62	0.47	0.45	0.36	0.43	0.73	0.53	0.55	0.38	0.55	
% p	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	
% ÜKLp	0.77	0.78	0.78	0.79	0.77	0.76	0.84	0.77	0.82	0.81	
% AKLp	0.24	0.23	0.23	0.22	0.24	0.25	0.17	0.24	0.19	0.2	

Hesaplamalar:

$\% p = (39 / 6270) \times 100$ **$\% p = 0,51$** diğer gruplar içinde hesaplanan $\% p$ değerleri Tablo 7.6'da gösterilmektedir.

$$\% \bar{p} = (297 / 57304) \times 100 \quad \mathbf{\% \bar{p} = 0,51}$$

$$\bar{ÜKLp} = 0,0051 + 3[\{0,0051(1 - 0,0051) / 6270\}^{1/2}]$$

$$= 0,0051 + 3[\{0,0051(0,9949) / 6270\}^{1/2}]$$

$$= 0,0051 + 0,00269$$

$\bar{ÜKLp} = 0,0077$ **$\% \bar{ÜKLp} = 0,77$** diğer gruplar içinde üst kontrol limitleri hesaplanmış ve Tablo 7.6'da gösterilmiştir.

$$AKLp = 0,0051 - 3[\{0,0051(1 - 0,0051) / 6270\}^{1/2}]$$

$$= 0,0051 - 3[\{0,0051(0,9949) / 6270\}^{1/2}]$$

$$= 0,0051 - 0,00269$$

$AKLp = 0,0024$ **$\% AKLp = 0,24$** diğer gruplar içinde alt kontrol limitleri hesaplanarak değerleri Tablo 7.6'da belirtilmiştir. Hedeflenen alt kontrol limiti de sıfır olarak çizelgede işaretlenmiştir.

Hesaplamalar sonucunda belirlenen $\% p$ değerleri ve kontrol limitleri grafikte işaretlenerek Şekil 7.9'da gösterilen p kontrol çizelgesi oluşturulmuş ve önceki çizelgede olduğu gibi tekrar kontrol limitlerinin ortalaması alınarak, limit çizgilerinin düz bir doğru şeklinde olması sağlanmıştır.

Şekil 7.9'da gösterilen ve dip hatasından dolayı atılan şişeler için hazırlanan p kontrol çizelgesi incelendiğinde, ölçüm yapılan zaman aralığında dip hataları açısından prosesin kontrol limitleri içinde sinüsoidal bir dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Dolayısıyla, kontrol çizelgesine bakarak prosese müdahaleyi gerektiren bir problem olmadığı belirlenmiştir. Bu şekilde problemsiz çalışan proseslerde de kontrol çizelgeleri kullanılarak, üretim hattındaki kontrol makinelerinin ve operatörün performansının kontrol edilmesinin mümkün olabileceği anlaşılmıştır.

Tablo 7.7’de de şişelerin gövdelerinde karşılaşılan habbe, taş, şekil bozukluğu gibi görüntü hatalarının tespit edildiği kontrol makinesinden alınan ölçümlerin sonuçları verilmiştir.

Tablo 7.7: Şişelerde gövde hatası kontrolünün sonuçları.

Saat:	10:15	10:45	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	Toplam
n.	6348	5894	5898	5942	6230	6835	4035	6380	4699	5021	57282
np	24	25	19	9	23	40	25	19	21	22	227
% p	0.37	0.42	0.32	0.15	0.36	0.58	0.61	0.29	0.44	0.43	
% $\bar{p}$	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	
% ÜKLp	0.62	0.63	0.63	0.63	0.62	0.61	0.68	0.62	0.66	0.65	
% AKLp	0.15	0.14	0.14	0.14	0.15	0.16	0.09	0.15	0.11	0.12	

Hesaplamalar:

$\% p = (24 / 6348) \times 100$ **% p = 0,37** diğer gruplar için hesaplanan % p değerleri Tablo 6.7 gösterilmiştir.

$$\% \bar{p} = (227 / 57282) \times 100 \quad \mathbf{\% \bar{p} = 0,39}$$

$$\begin{aligned} \text{ÜKLp} &= 0,0039 + 3 \left[\{0,0039(1 - 0,0039) / 6348\}^{1/2} \right] \\ &= 0,0039 + 3 \left[\{0,0039(0,9961) / 6348\}^{1/2} \right] \\ &= 0,0039 + 0,0023 \end{aligned}$$

$\text{ÜKLp} = 0,0062$ **% ÜKLp = 0,62** diğer gruplar için üst kontrol limiti sonuçları Tablo 7.7’de gösterildiği şekildedir.

$$\begin{aligned} \% \text{AKLp} &= 0,0039 - 3 \left[\{0,0039(1 - 0,0039) / 6348\}^{1/2} \right] \\ &= 0,0039 - 3 \left[\{0,0039(0,9961) / 6348\}^{1/2} \right] \\ &= 0,0039 - 0,0023 \end{aligned}$$

$\text{AKLp} = 0,0015$ **% AKLp = 0,15** diğer gruplar için hesaplanan alt kontrol limiti değerleri Tablo 7.7’de gösterildiği şekildedir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler kullanılarak oluşturulan p kontrol izelgesi şekil 7.10’da gösterilmiştir.

şekil 7.10’da gösterilen p kontrol çizelgesine göre de prosesin genel olarak kontrol limitleri içinde sinüsoidal bir dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Sadece 11:45 – 12:45 arasında gövde hatasından atılan şişe oranında bir artış eğilimi olduğu görülmüş ve operatörün makineye zamanında müdahale etmesiyle prosesin kontrol dışına çıkmasının engellendiği tespit edilmiştir.

Tablo 7.8’de şişelerin ağız iç-dış boyut bozuklukları, ağızdaki çatlaklar gibi hataların test edildiği kontrol makinelerinde yapılan ölçüm sonuçları verilmiştir.

Tablo 7.8: Şişelerde ağız çatlak ve boyut kontrolünün sonuçları.

Saat:	10:15	10:45	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:15	14:45	Toplam
n.	2855	3410	3099	3181	3295	3830	3065	3280	959	4670	31644
np	131	79	100	155	163	139	56	79	28	82	1012
% p	4.58	2.31	3.22	4.87	4.94	3.62	1.82	2.4	2.92	1.75	
% $\bar{p}$	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	
% ÜKLp	4.17	4.09	4.13	4.12	4.1	4.04	4.14	4.11	4.89	3.96	
% AKLp	2.2	2.28	2.24	2.25	2.27	2.33	2.23	2.26	1.48	2.41	

Hesaplamalar:

$\% p = (131 / 2855) \times 100$ **% p = 4,58** diğer gruplar için hesaplanan % p değerleri Tablo 6.8’de verilmiştir.

$$\% \bar{p} = (1012 / 31644) \times 100 \quad \% \bar{p} = 3,19$$

$$\begin{aligned} \text{ÜKLp} &= 0,0319 + 3[\{0,0319(1 - 0,0319) / 2855\}^{1/2}] \\ &= 0,0319 + 3[\{0,0319(0,9681) / 2855\}^{1/2}] \\ &= 0,0319 + 0,0098 \end{aligned}$$

$\text{ÜKLp} = 0,0417$ **% ÜKLp = 4,17** diğer gruplar içinde aynı şekilde üst kontrol limitleri hesaplanarak Tablo 7.8’de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{AKLp} &= 0,0319 - 3[\{0,0319(1 - 0,0319) / 2855\}^{1/2}] \\ &= 0,0319 - 3[\{0,0319(0,9681) / 2855\}^{1/2}] \\ &= 0,0319 - 0,0098 \end{aligned}$$

$\text{AKLp} = 0,022$ **% AKLp = 2,2** diğer gruplar için hesaplanan alt kontrol limiti değerleri Tablo 7.8’de gösterildiği şekildedir.

Hesaplamalar sonucunda bulunan değerler çizelgede işaretlenerek Şekil 7.11’de gösterilen p kontrol çizelgesi oluşturulmuştur.

Şekil 7.11'deki p kontrol çizelgesinin oluşturulmasında birden fazla hatanın kontrol edildiği kontrol cihazına ait toplam hata oranı değerleri kullanılmıştır. Bu nedenle bu p çizelgesinde, diğerlerine göre hata oranları daha yüksek çıkmıştır. Genel olarak çizelge incelendiğinde kontrol cihazından atılan hatalı şişe oranında kontrol limitlerini aşan oranlarda değişkenlik olduğu belirlenmiş ve belli bir zaman aralığında prosesin tam olarak kontrol altına alınamadığı gözlenmiştir. Bu çizelgede de bundan önce hazırlanan kontrol çizelgelerinde olduğu gibi, meydana gelen hatalar genellikle makine ayarlarında zaman içinde meydana gelen değişimlerden veya kalıplardan kaynaklanabilmektedir. Bu şekilde kontrol çizelgeleri oluşturularak her bir hata türü için hata dağılım oranları belirlenmesi ve bir sonraki adımda da neden – sonuç diyagramları oluşturularak, hata türlerinin nedenleri ve çözümleriyle ilgilide bir istatistik oluşturulmasının, üretimde kalite ve verimliliğin artırılmasına katkı sağlamak açısından önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

7.4 – Üretim Takip Sistemi Verileri ile A-3 Hattında İPK Uygulaması

Anadolu Cam Sanayii A.Ş. Topkapı fabrikasının A-3 ecza hattında uygulamaya alınan üretim takip sistemi kullanılarak, kalite kontrol sisteminde test edilen ağız ve dip hatalarının kalıp numaralarına göre dağılımı incelenmiştir. Bu inceleme esnasında kalite kontrol cihazında bulunan kalıp numarası okuyucu istasyondan faydalanılmıştır. Kalıp numarası okuma istasyonu vasıtasıyla hatalı olduğu tespit edilen şişelerin hangi kalıpta şekillendirildiği tespit edilerek her bir kalıp için hata dağılımını ortaya koymak mümkün olmaktadır. A-3 hattında yapılan ölçümler esnasında sürekli hata veren kalıpların değiştirilmesi nedeniyle aynı kalıplardan sürekli ölçüm almak mümkün olmamıştır. Bu nedenle ölçümler esnasında sürekli I.S. makinesinde bağlı kalan kalıplar için p kontrol çizelgeleri oluşturulmuştur. Üretim takip sisteminin kalite kontrol cihazından aldığı verileri kullanarak her bir kalıpta şekillendirilen şişe sayısı ve hatalı şişe sayısı tespit edilmiş ve I.S. makinesinin her kolundan bir kalıp için p kontrol çizelgeleri oluşturulmuştur. Bu ölçümlerde amaç, her bir kalıptan gelen hatalı şişe oranını yani kalıbın hata dağılımını çıkartarak sık sık hata veren kalıpları belirlemek ve zamanında bu hataların düzeltilmesini sağlamaktır.

Ölçüm yapılan zaman diliminde, I.S makinesinde bağlı olan kalıp numaralarının kollara göre dağılımı Tablo 7.9’da verilmiştir. Tablo 7.9’da verilen kalıplardan, inceleme esnasında sürekli I.S makinesinde bağlı kalan 12 kalıbın (1, 2, 5, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 19, 20, 21) verileri kullanılarak p kontrol çizelgeleri oluşturulmuştur. Kontrol çizelgesi oluşturulan bu 12 kalıbın çoğunun hata dağılım oranının kontrol limitleri içinde kaldığı, bir iki kalıpta ise hata dağılım oranında kontrol limitleri dışına çıkacak şekilde değişimler olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada, ölçümü yapılan on iki kalıptan, üretim esnasında problemsiz olarak çalışan kalıplara örnek olarak 1 numaralı kalıbın verileriyle hazırlanan p kontrol çizelgesi verilmiş. Üretim esnasında probleme neden olan kalıplara örnek olarak ta 5 numaralı kalıbın verileriyle oluşturulan p kontrol çizelgesi gösterilmiştir.

Tablo 7.9: I.S. makinesinde bağlı bulunan kalıpların kollara göre dağılımı.

Kol No:	A 1 Ö	A 2 Ö	A 3 Ö	A 4 Ö	A 5 Ö	A 6 Ö	A 7 Ö	A 8 Ö
	24 14	5 20	21 2	13 15	8 16	19 9	10 11	12 1
Kol No:	A 1 Ö	A 2 Ö	A 3 Ö	A 4 Ö	A 5 Ö	A 6 Ö	A 7 Ö	A 8 Ö
	14 12	5 20	21 2	13 15	1 7	19 9	11 8	17 4

A: Arka kalıp, Ö: Ön kalıp

1 numaralı kalıpta şekillendirilen şişeler için üretim takip sisteminden alınan verilerin sonuçları Tablo 7.10’da gösterilmiştir.

Tablo 7.10: 1 numaralı kalıp için üretim takip sisteminde yapılan ölçüm sonuçları.

Saat	n.	np	% p	% $\bar{p}$	% ÜKL	% AKL
08:00	327	1	0.3	0.61	1.9	0
08:30	394	2	0.5	0.61	1.78	0
09:00	369	4	1.08	0.61	1.82	0
09:30	401	1	0.24	0.61	1.77	0
10:00	355	3	0.84	0.61	1.84	0
10:30	355	3	0.84	0.61	1.84	0
11:00	401	3	0.74	0.61	1.77	0
11:30	380	1	0.26	0.61	1.8	0
12:00	386	2	0.51	0.61	1.79	0
12:30	427	2	0.46	0.61	1.74	0
13:00	383	3	0.78	0.61	1.8	0
13:30	392	1	0.25	0.61	1.78	0
14:00	345	2	0.57	0.61	1.86	0
14:30	337	0	0	0.61	1.88	0
15:00	400	3	0.75	0.61	1.77	0
15:30	391	3	0.76	0.61	1.79	0
16:00	369	1	0.27	0.61	1.82	0
16:30	372	5	1.34	0.61	1.82	0
17:00	378	4	1.05	0.61	1.81	0
Toplam:	7162	44				

Hesaplamalar:

Bölüm 7.3'te hata türlerine göre p kontrol çizelgesi oluşturulmasında kullanılan formüller kullanılarak aynı şekilde % p, % $\bar{p}$, % ÜKLp ve % AKLp değerleri her ölçüm periyodu için hesaplanıp çizelgede işaretlenmiş ve 1 no'lu kalıp için Şekil 7.12'de gösterilen p kontrol çizelgesi oluşturulmuştur. Hesaplanan alt kontrol limiti değerleri negatif değerde çıktığı için % AKLp değeri sıfır olarak alınmıştır.

Şekil 7.12'de gösterilen ve 1 numaralı kalıp için hazırlanan p kontrol çizelgesine bakıldığında, 1 numaralı kalıptan kaynaklanan hata oranındaki değişimin, kontrol limitleri içinde bir dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Bu çizelgede 1 numaralı kalıpta şekillendirilen şişelerin ağız ve dip kısımlarında bulunan hatalardan kaynaklanan atılma oranları ortaya konmuş olup 1 numaralı kalıbın 10 saatlik periyotta her hangi bir probleme neden olmadan kontrol limitleri içinde kalan hata oranıyla şişelerin şekillendirilmesini sağladığı görülmüştür. Hatalı şişe oranının 1 numaralı kalıp için kontrol limitleri içinde olması kalıba müdahale gereğini ortadan kaldırmaktadır. Üretim takip sisteminden her bir kalıp için elde edilen veriler kullanılarak kontrol çizelgesi oluşturulmasıyla kalıpların performansları takip edilebilmekte ve böylece hatalı şişelerin daha çok hangi kalıplardan geldiğinin tespit edilmesi de mümkün olabilmektedir. Bu sonuçtan yola çıkarak sık sık hataya neden olan kalıpların zamanında değiştirilmesi sağlanarak kalite ve verimliliğin artırılmasına katkı sağlanabilir.

Tablo 7.11’de de 5 numaralı kalıp için üretim takip sisteminden alınan veriler ve hesaplama sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 7.11: 5 numaralı kalıp için üretim takip sisteminde yapılan ölçüm sonuçları.

Saat	n	np	%p	%p	%ÜKL	%AKL
08:00	324	1	0.3	1.87	4.12	0
08:30	405	2	0.49	1.87	3.88	0
09:00	394	2	0.5	1.87	3.91	0
09:30	387	2	0.51	1.87	3.93	0
10:00	348	2	0.57	1.87	4.04	0
10:30	387	4	1.03	1.87	3.93	0
11:00	386	12	3.1	1.87	3.93	0
11:30	389	7	1.79	1.87	3.93	0
12:00	313	1	0.31	1.87	4.16	0
12:30	422	8	1.89	1.87	3.84	0
13:00	404	16	3.96	1.87	3.89	0
13:30	373	24	6.43	1.87	3.97	0
14:00	368	24	6.52	1.87	3.98	0
14:30	342	11	3.21	1.87	4.06	0
15:00	373	4	1.07	1.87	3.97	0
15:30	388	2	0.51	1.87	3.93	0
16:00	382	2	0.52	1.87	3.94	0
16:30	382	4	1.04	1.87	3.94	0
17:00	375	11	2.93	1.87	3.96	0
17:30	374	2	0.53	1.87	3.97	0
Toplam:	7516	141				

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen %p değerleri ve kontrol limitleri çizelgede işaretlenerek 5 numaralı kalıp için Şekil 7.13’te gösterilen p kontrol çizelgesi oluşturulmuştur.

Şekil 7.13'te gösterilen p kontrol çizelgesi incelendiğinde, başlangıçta 5 numaralı kalıpta şekillendirilen hatalı şişe oranının sıfıra yakın seviyelerde olduğu görülmektedir. Saat: 10:00 – 11:00 arasında hata oranında, kalıp parçası ayarlarındaki değişimlerden veya yağlama işlemi esnasında operatörün müdahalesinden kaynaklanan bir artış olduğu, ancak operatörün zamanında müdahalesiyle prosesin kontrol dışına çıkmasının engellendiği gözlenmiştir. Saat: 12:00 – 14:00 arasında ise hatalı şişe oranında yükselme yönünde bir eğilim olduğu görülmektedir. Ancak, üretim takip sistemi ve İPK uygulamasının A-3 hattında fiili olarak başlamamasından dolayı operatör hata oranındaki artış eğilimini fark edememiş ve iki saat süreyle hatalı şişeler ıskartaya atılarak maliyet artışına sebep olunmuştur. Hazırlanan bu kontrol çizelgelerinin kullanılmaya başlanmasıyla, operatörlerin prosesi gerçek zamanlı olarak takip etmesi sağlanacak ve üretim hattındaki kayıplar azaltılabilecektir.

Sonuç olarak, üretim takip sistemi ve istatistiksel proses kontrol yöntemlerinin cam ambalaj üretim prosesinde uygulamaya alınmasıyla, üretim prosesinde meydana gelebilecek değişiklikler gerçek zamanlı olarak takip edilebilecek ve oluşması muhtemel problemleri zamanında fark ederek, önlemlerini almak suretiyle ürün kayıplarının önüne geçilebilecektir. Böylece, üretim prosesinde verimliliğin artırılmasının yanı sıra kalitenin geliştirilmesine de katkı sağlanmış olacaktır.

8 - GENEL DEĞERLENDİRME

Geleneksel kalite kontrol anlayışının prensibi, üretilen üründe hata meydana geldikten sonra hatanın nedenini araştırarak, hatayı gidermek için gerekli önlemlerin alınması şeklindedir. Dolayısıyla bu tür bir kalite anlayışı, özellikle cam ambalaj üretimi gibi süreklilik gerektiren üretim proseslerinde, hatanın meydana geldiği andan, giderildiği ana kadar geçen zaman diliminde üretilen ürünlerin ıskartaya atılmasına ve üretim maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Günümüz rekabet şartlarında firmaların pazarda pay sahibi olabilmeleri için üretimde kaliteyi artırmalarının yanı sıra üretim maliyetlerini de minimum seviyede tutmaları gerekmektedir. Hem üretimde kalite gereksinimlerini karşılamak hem de üretim maliyetlerini düşürmek için ürün kalite kontrolünün yanı sıra ürünün üretildiği prosesin de kontrol altında tutulması gerekmektedir. Bu şekilde, üretim prosesini sürekli takip ederek, proseste meydana gelebilecek muhtemel değişikliklere zamanında müdahale etme imkanı olmaktadır.

Üretim takip sistemi ve istatistiksel proses kontrol (İPK) gibi endüstride yaygın uygulama alanına sahip proses kontrol teknikleri kullanılarak daha düşük maliyetle daha kaliteli ürünlerin üretilmesi mümkün olmaktadır. Üretim takip sistemi ve İPK tekniklerinin cam ambalaj üretim prosesinde uygulanması halinde üretimde kalite ve verimliliğin artırılmasına nasıl bir katkı sağlanacağını görebilmek amacıyla Şişe Cam, Anadolu Cam Sanayi, Topkapı Şişe fabrikası A-3 nolu ecza şişesi üretim hattında bir pilot çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, üretim takip sistemi olarak ifade edilen proses kontrol tekniğinin uygulamaya alınmasıyla, cam ambalaj üretiminde soğutma sonrası beş ayrı noktada farklı kalite kontrol makineleri ile yapılan kontrollerin sonuçlarını tek bir sistemde toplamanın mümkün olabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca, üretim takip sisteminin üretim prosesinde sıcak uç olarak ifade edilen, damla kesiminin ve şekillendirilmesinin gerçekleştirildiği bölge ile de irtibat sağlayarak, damla kesiminden şişelerin ambalajlanmasına kadar olan üretim hattının tek bir sistem üzerinden takip edilebilmesine imkan verdiği sonucuna varılmıştır.

Üretim takip sistemi kullanılarak üretim hattının tek elden takip edilmesi neticesinde, hatta bulunan operatör, meydana gelmesi muhtemel bir problemi erken aşamada fark ederek prosese zamanında müdahale edebilmektedir. Bu da ürün kayıplarının azalmasına katkı sağlamaktadır. Üretim takip sistemi hatta bulunan kalıp numarası okuyucu sistemle de irtibat sağlayarak, her bir kalıp için üretilen ve reddedilen şişe sayılarını vermektedir.

Proses kontrolü amacıyla üretim takip sisteminin yanında İPK teknikleri de kullanılmaktadır. İPK tekniklerinden kontrol çizelgesi yönteminin cam ambalaj üretim prosesinde uygulanması neticesinde, prosesin gidişatı hakkında daha sağlıklı bilgiler de alınabilmektedir. Kontrol çizelgelerinin oluşturulmasında üretim takip sisteminin sağladığı verilerde kullanılmıştır. Belirli zaman periyotları için oluşturulan kontrol çizelgelerinin, proste, bu zaman diliminde meydana gelen değişimler hakkında bilgi verdiği ve prosesin kontrol limitleri içinde olup olmadığının tespitinin yapılmasını da sağladığı anlaşılmıştır. Kontrol çizelgelerinin proste meydana gelen değişimlerin ne tür bir eğilim gösterdikleri hakkında da bilgi verdiği tespit edilmiştir. Örneğin hazırlanan bir p kontrol çizelgesinde, hatalı ürün sayısında artış şeklinde bir eğilim oluşması, bu eğilimin fark edilerek proses kontrol dışına çıkmadan müdahale edilmesine imkan verecektir. Böylece hata meydana gelmeden önlenilecek ve ürün kayıpları minimize edilebilecektir. Ayrıca oluşturulan kontrol çizelgeleri ile üretim hattında hangi noktalarda hataların yoğunlaştığının tespit edilmesi de mümkün olmaktadır. Böylece her hangi bir hata durumunda ilk olarak hatanın yoğun olduğu noktalara müdahale edilerek, zaman kayıplarını önlemekte mümkün olabilecektir.

Sonuç olarak, üretim takip sistemi ve kontrol çizelgesi gibi İPK teknikleri kullanılarak proses kontrolünün yapılması, ürün kalitesinin yükselmesine katkı sağladığı gibi üretim verimini artırarak maliyetlerin düşürülmesine de imkan vermektedir.

KAYNAKLAR

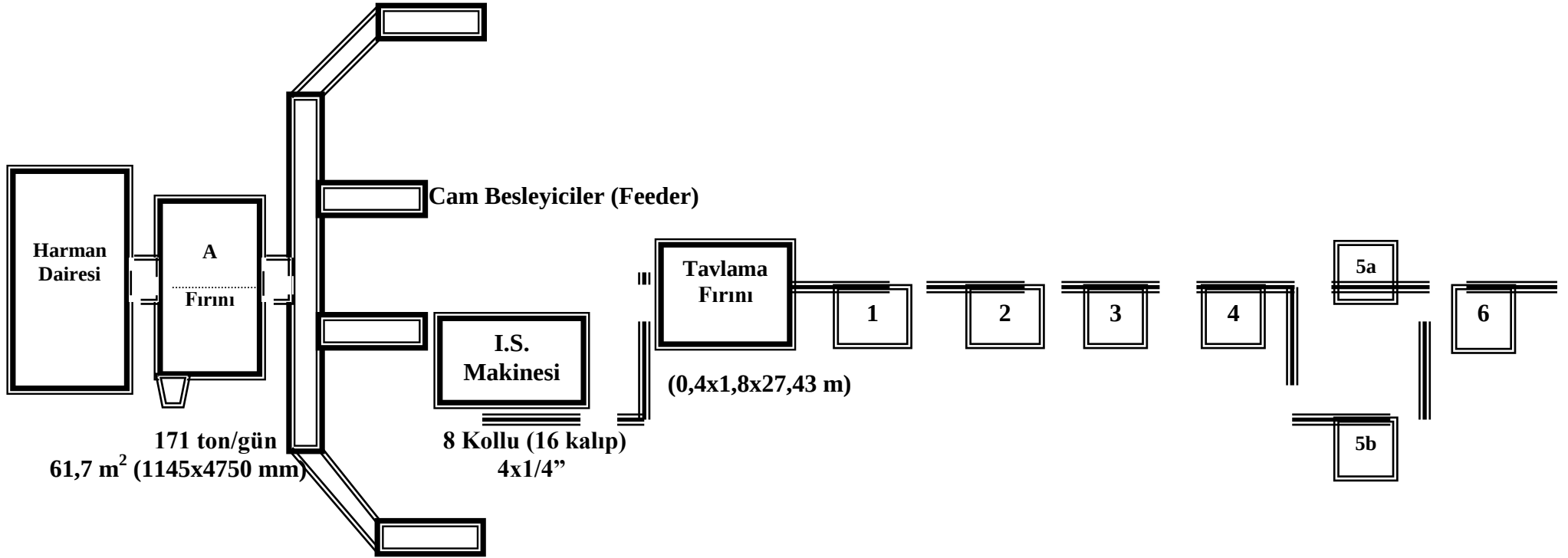
- [1] **Alpakın, L.**, 2001. Ambalaj ve Ambalaj Sanayi Sektörü, *Ambalaj Sanayicileri Derneği Bülteni*, Ekim 2001, 3 – 8.
- [2] **Olsmats, C.**, 2001. Packaging Industry in the World with its Statistical Data, 7. *Uluslar arası Ambalaj Sempozyumu, İstanbul, Türkiye*, Ekim 2001, 18 - 21
- [3] **www.heye-glas.de**, Heye-Glas web sayfası.
- [4] **Heinz, G., Pfaender.**, 1996. Schott Guide to Glass, *Chapman & Hall press*. Germany.
- [5] **Moody, B. E.**, 1963. Packaging In Glass. *United Glass Limited*, London.
- [6] **Kuşcuoğlu, S., Yücesoy, D.**, 1998. ŞişeCam Anadolu Cam Sanayi A.Ş., Topkapı Fabrikası, Oryantasyon Eğitim Notları,
- [7] **Tooley, Fay V.**, 1974. The Handbook of Glass Manufacture., Vol. II, *Books for Industry, The Glass Industry Magazine, Division of Magazines for Industry.*, New York
- [8] **Kuşcuoğlu, S., Yücesoy, D., Engin, S.**, 1993. Cam Teknolojisine Giriş. I. Cilt., Şişecam Eğitim Müdürlüğü, İstanbul.
- [9] **Moore, H.**, 1983. Glass Container Technology. *Glass Industry/January*.
- [10] **www.emhartglass.com**, Emhart Glass web sayfası.
- [11] **CKS Projesi Rapor No. 5**, 1995. Cam Kırığı Spesifikasyonları ve Hazırlama Teknolojisi. Anadolu Cam Sanayi, Topkapı Fabrikası, İstanbul
- [12] **Kuşcuoğlu, S., Yücesoy, D., Engin, S.**, 1993. Cam Teknolojisine Giriş. II. Cilt., Şişecam Eğitim Müdürlüğü, İstanbul.
- [13] **Buettiker, P.**, 1996. The role of Forehearth and Spout in Gob Forming. *Glass Monthly Journal of the European Glass Industry*. Vol.73, No.10, 459 – 461.
- [14] **Zuluaga, A.**, 1999. Latest Feeder and Shear Mechanisms Reduce Rejects and Control Speeds. *Glass International*. Vol. 22, No.5 , 29 – 31.

- [15] **Jovanov, E., Vracar, V., Lazic, A., Dupalo, R.,** 1998. A Prototype Glass Viscosity Measurement System. *Glass Machinery Plants & Accessories*. March, 123 – 126.
- [16] **Ringer, O., Kiessling, B.,** 1997. Advanced Gob Weight Control System. *Glass Machinery Plants & Accessories*. April, 115 – 118.
- [17] **Giegerich, W., Trier, W.,** 1969. Glass Machines – Construction and Operation of Machines for Forming of Hot Glass. *Springer – Verlag* New York Inc.
- [18] **Gerbi, R.,** 1999. Mould Materials: A compromise between high production speeds and service life? *Glass Monthly Journal of The European Glass Industry*. Vol. 76, No. 10, 327.
- [19] **Gökben, S., Mehter, B.,** 1994. Etkin Kalıp Soğutma (Vertiflow). 9. *Cam Problemleri Sempozyumu*. İstanbul, 35 – 50 .
- [20] **Sarı, O., Hekimoğlu, B.,** 1993. Klasik Soğumalarla Birlikte ACS Tipi Dikey Soğutma Uygulaması. 8. *Cam Problemleri Sempozyumu*. İstanbul. 20 –36.
- [21] **Yağcı, E., Irmak, K.,** 1999. Şişe Kalıplarında Ön Kaplama Uygulaması. 14. *Cam Problemleri Sempozyumu*. İstanbul. 167 – 176.
- [22] **Doyle, P. J.,** 1980 Glass Making Today. *Information officer, British Glass Industry Research Association*, Sheffield, England.
- [23] **Sasso, D.,** 1998. Servo – Control in I.S. Machine Development. *Glass Machinery Plants & Accessories*. February. 121 – 124.
- [24] **Ergün, H., Işıksır, Ş.,** 1997. Soda – Kireç – Silis Cam Ambalajlarında SO₃ Kaplama Yöntemi ile Kimyasal Dayanıklılığın Artırılması. 12. *Cam Problemleri Sempozyumu*. İstanbul. 62 – 79.
- [25] **Teoman, Y., Tümerkan, I., Şardağ, H.,** 1988. Şişe Üretim Hatlarında Kalite Kontrol Sistemleri. 4. *Cam Problemleri Sempozyumu*. İstanbul. 80 – 92.
- [26] **Logel, J.,** 1997. Defect Detection for Glass Containers. *Glass Machinery Plants & Accessories*. February 100 – 102.
- [27] **Defayette, J.,** 1996. Flexible Bulk Packaging. *Glass Machinery Plants & Accessories*. February 117 – 123.
- [28] **Hossain, A., Choudhury, Z., Suyut, S.,** 1996. Statistical Process Control of an Industrial Process in Real Time. *IEEE. Transations on Industrial Applications*. Vol. 32, No. 2, 243 – 249.

- [29] **Umur, E.**, 2000. İstatistiksel Proses Kontrolü, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [30] **Beauregard, M., Mikulak, R. J., Olson, B.** 1992. A Practical Guide to Statistical Quality Improvement. New York.
- [31] **www. anadolucam.com.tr** Anadolu Cam Sanayi A.Ş. web sayfası.
- [32] **Anadolu Cam Sanayi A.Ş.** 2001. Topkapı Fabrikası Tanıtım Notları.
- [33] **Yaraşan, H., Sabaner, T.**, 1997. Ecza Şişesi Üretim Hatlarında Temiz Oda Teknolojisinin Uygulanması. *12. Cam Problemleri Sempozyumu* İstanbul. 103 – 116.

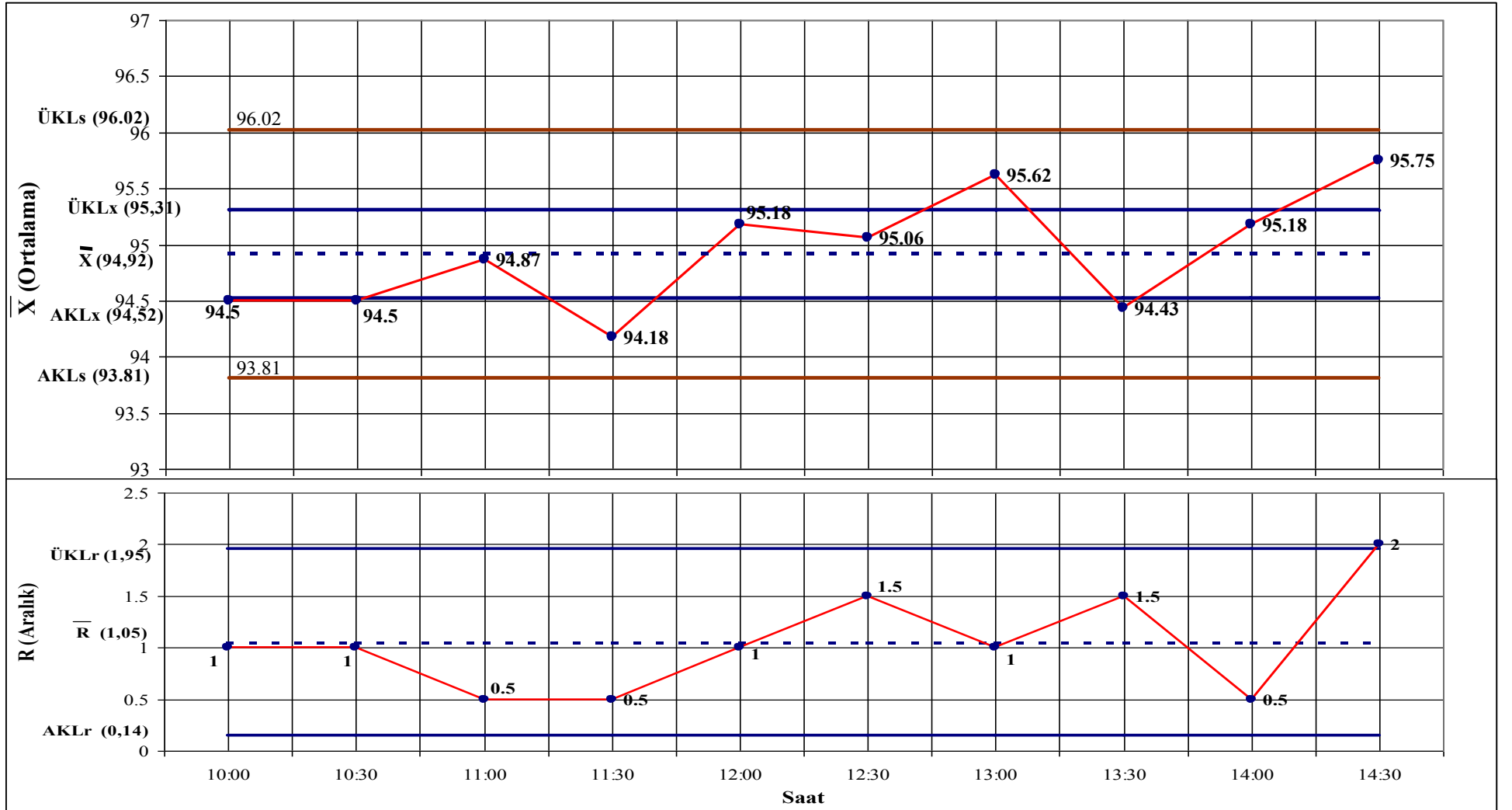
ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında İstanbulda Kamuran İBRAHİMOĞLU ve Abdullah İBRAHİMOĞLU'nun oğulları olarak dünyaya gelen Fatih İBRAHİMOĞLU. İlk ve orta öğrenimini sırasıyla, Hırkai Şerif İlköğretim Okulu, Bostancı Orta Okulu, Orhan Gazi Lisesinde tamamladı. 1994 yılında Bölüm birincisi olarak girdiği Sakarya Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümünden 1996 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne yatay geçiş yaptı. 1999 yılında İ.T.Ü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden mezun olduktan sonra aynı bölümde seramik programında yüksek lisans eğitimine başladı.

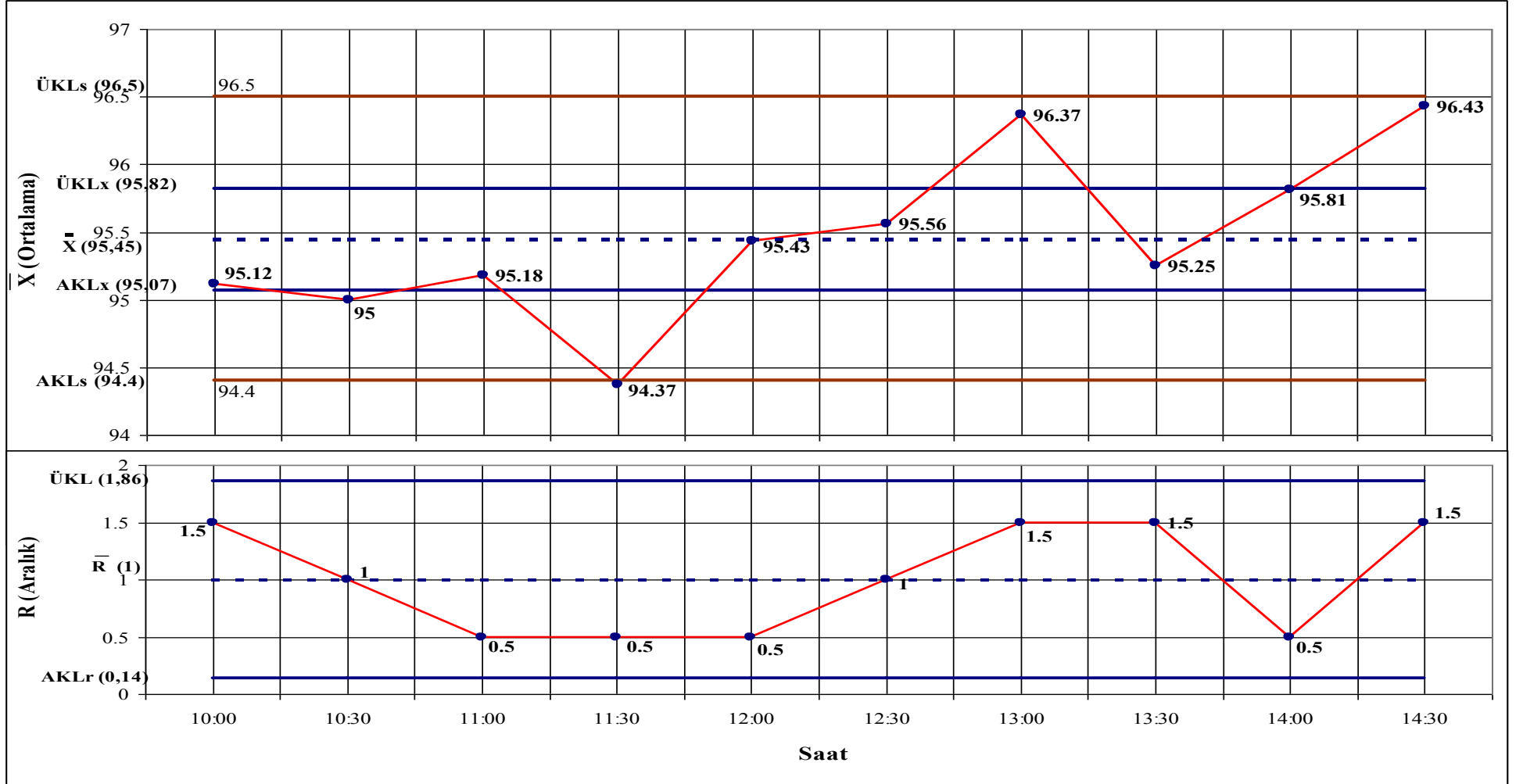


- 1) Ağız – Dip Kontrol + Kalıp Numarası Okuyucu
- 2) Gövde Kontrol Cihazı
- 3) Ayna
- 4) Cam Cidar Kalınlığı Ölçüm Cihazı
- 5a) Sol Taraftaki Ağız İç-Dış Master ve Çatlak Ölçüm Cihazı
- 5b) Sağ Taraftaki Ağız İç-Dış Master ve Çatlak Ölçüm Cihazı
- 6) Naylon Torba Shrink Makinesi

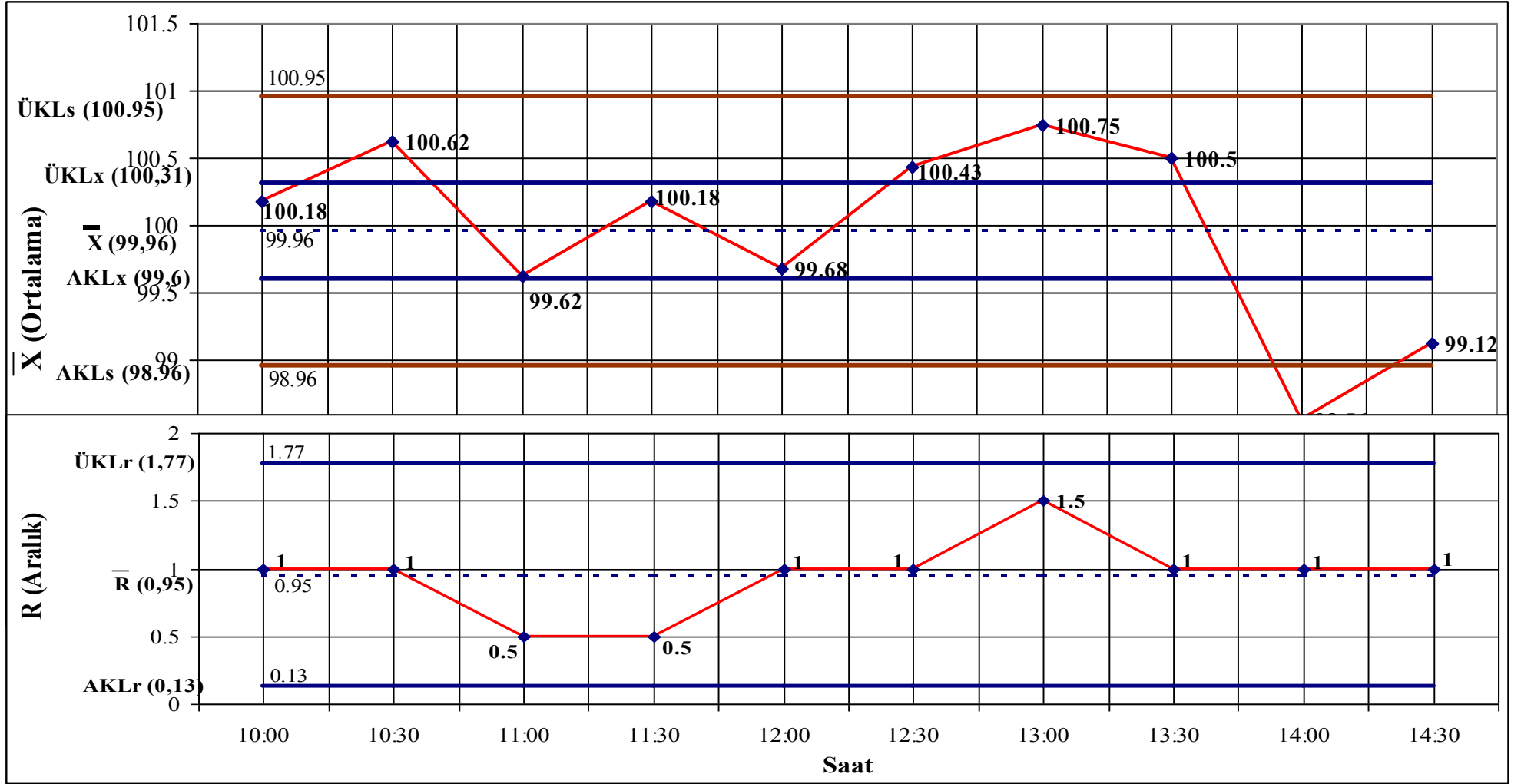
Şekil 7.1: Anadolu Cam Sanayi Topkapı Fabrikası A-3 üretim hattı yerleşim planı.



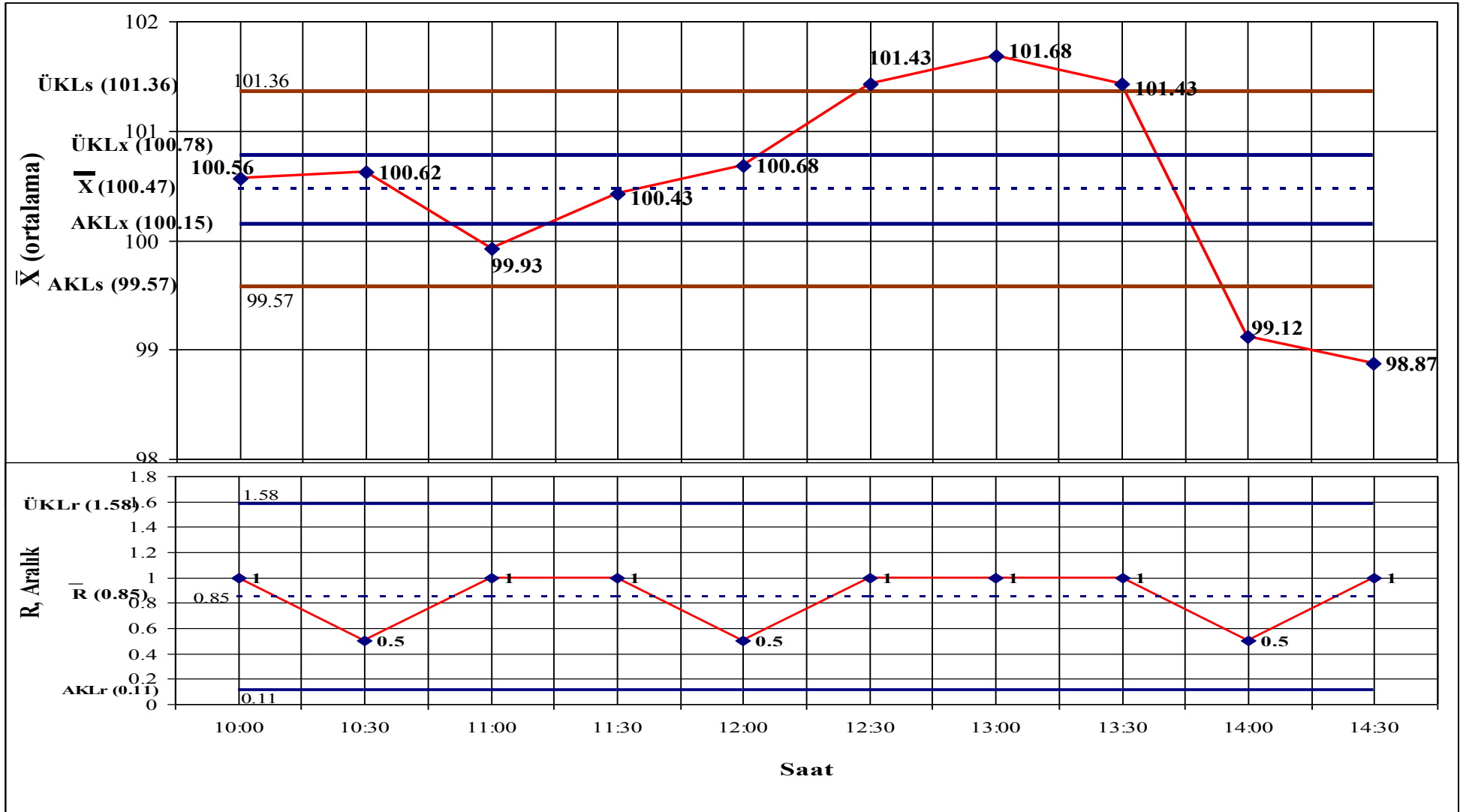
Şekil 7.3: Servo feeder öncesi arka kalıp için X&R kontrol çizelgesi



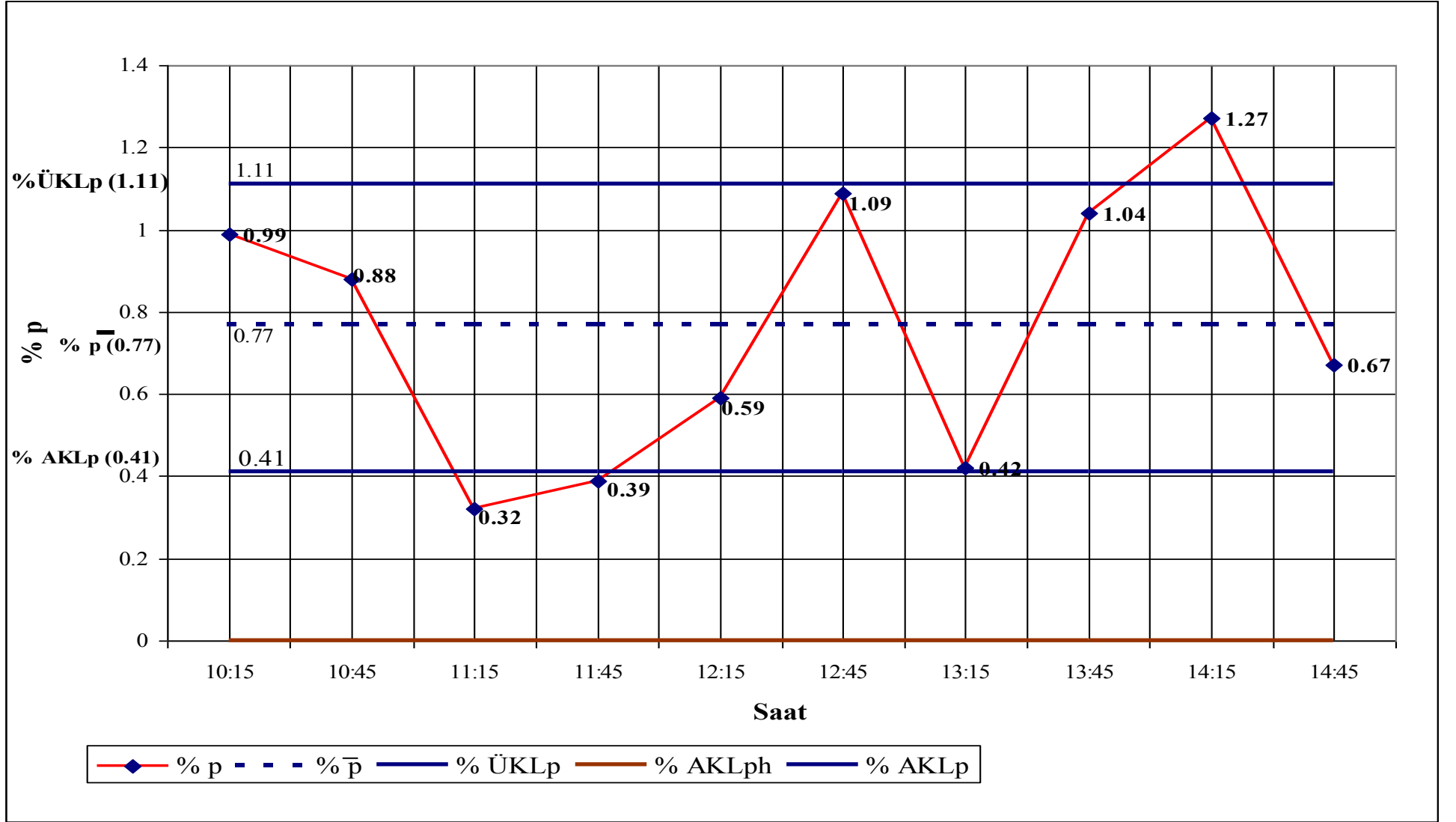
Şekil 7.4: Servo feeder öncesi ön kalıp için $\bar{X}$ &R kontrol çizelgesi.



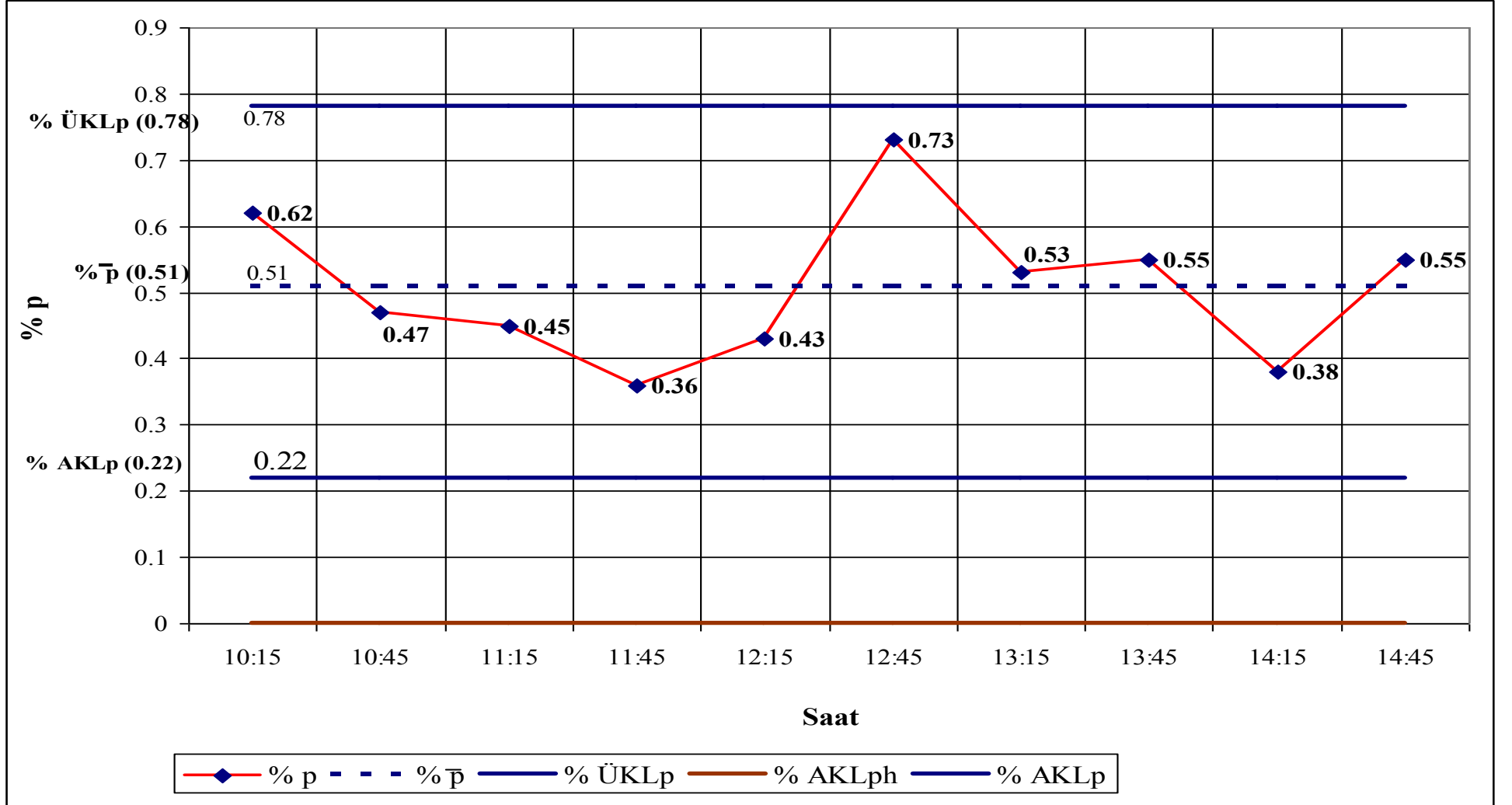
Şekil 7.6: Servo feeder sonrası arka kalıp için $\bar{X}$ &R kontrol çizelgesi.



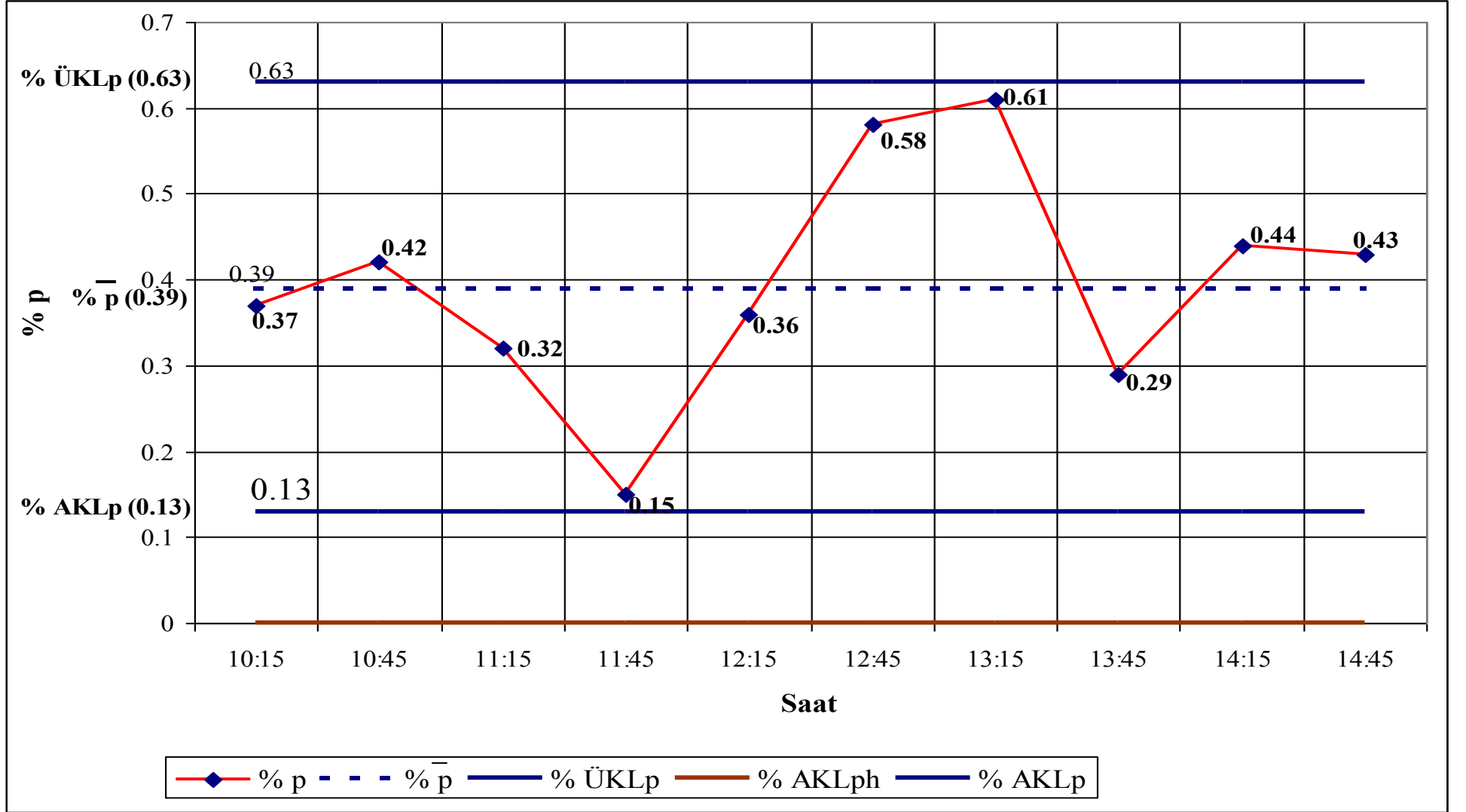
Şekil 7.7: Servo feeder sonrası ön kalıp için $\bar{X}$ & R kontrol çizelgesi.



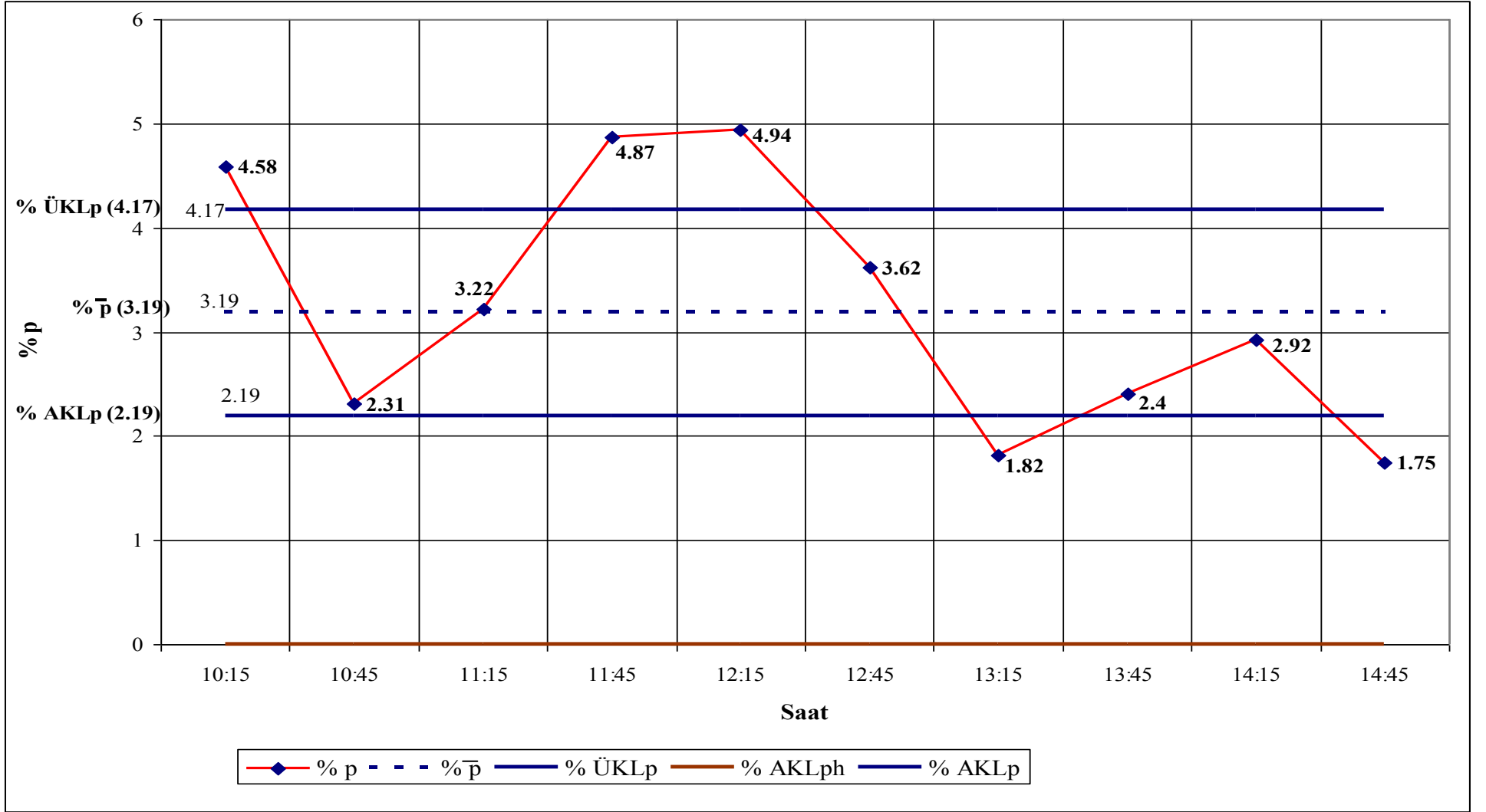
Şekil 7.8: Ağız kontrolü için p kontrol çizelgesi.



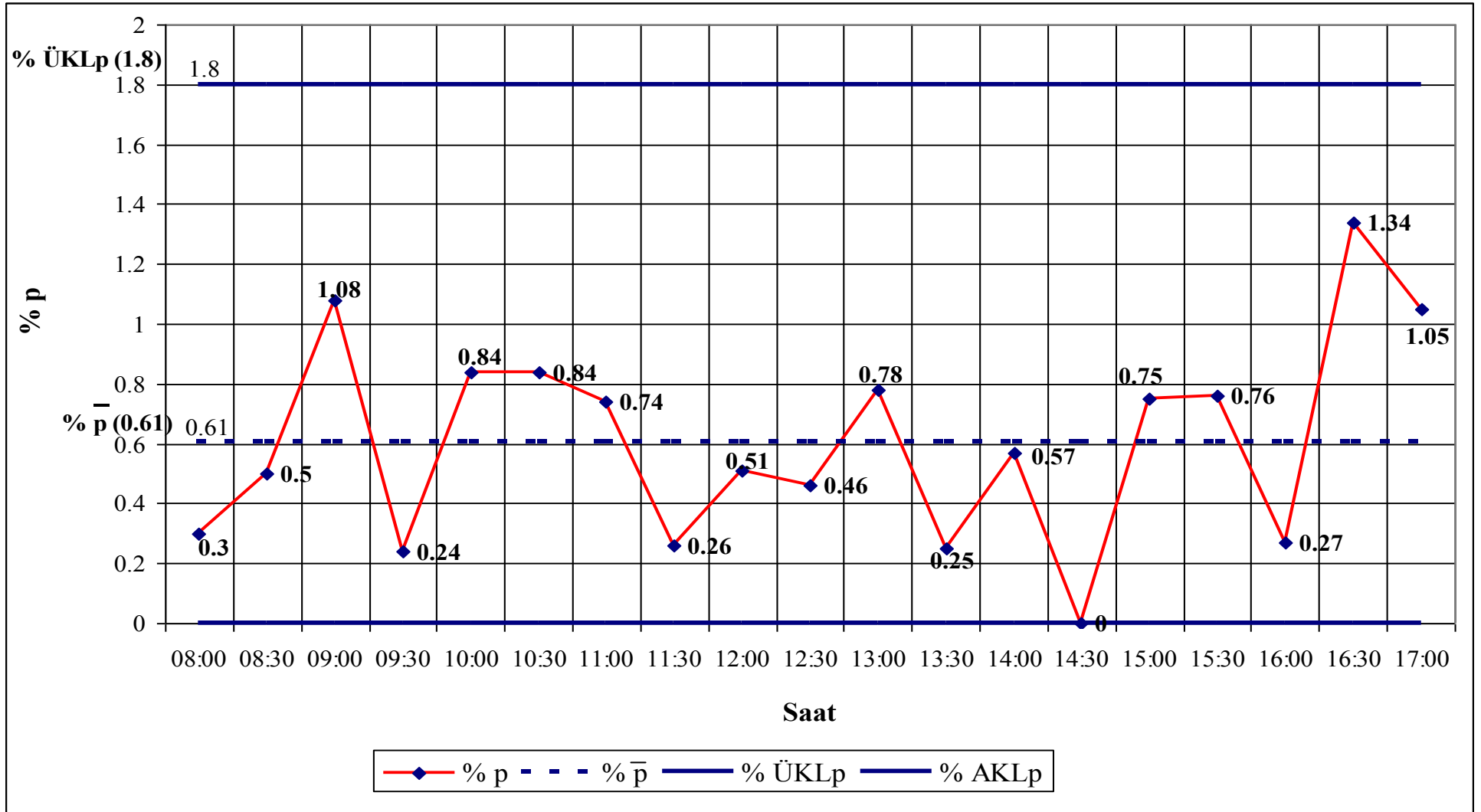
Şekil 7.9: Dip kontrolü için p kontrol çizelgesi



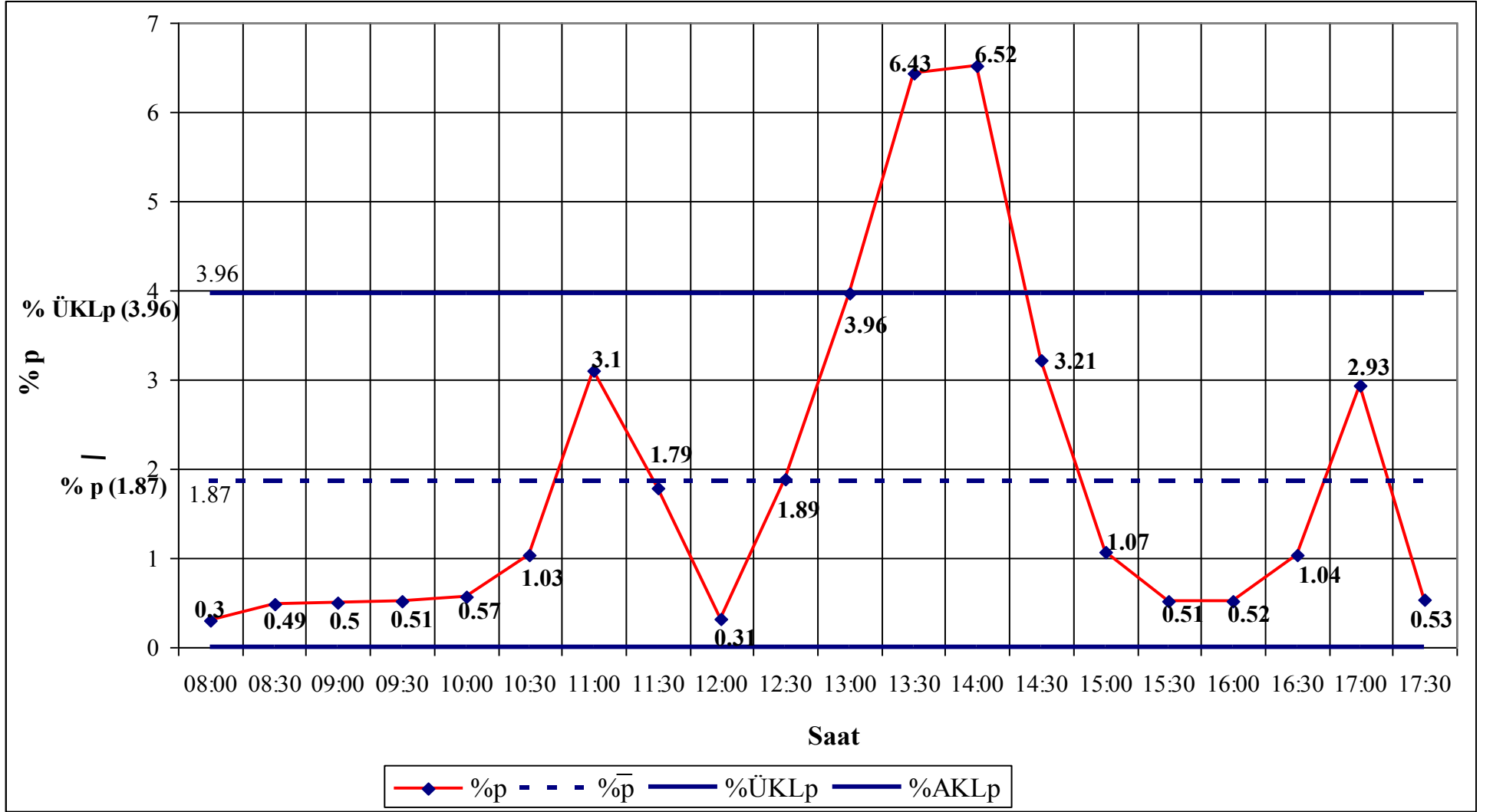
Şekil 7.10: Gövde Kontrolü için p kontrol çizelgesi



Şekil 7.11: Ağız iç – dış boyut ve çatlak kontrolü için p kontrol çizelgesi.



Şekil 7.12: 1 numaralı kalıp için p kontrol çizelgesi.



Şekil 7.13: 5 numaralı kalıp için p kontrol çizelgesi.