

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**CAMIN DELİNMESİNDE KULLANILAN DELME
PARAMETRELERİNİN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARUK HARMANCI

BOLU, KASIM - 2018

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**CAMIN DELİNMESİNDE KULLANILAN DELME
PARAMETRELERİNİN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARUK HARMANCI

BOLU, KASIM - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Faruk HARMANCI tarafından hazırlanan "CAMIN DELİNMESİNDE KULLANILAN DELME PARAMETRELERİNİN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE OPTİMİZASYONU" adlı tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 21/11/2018 tarihinde BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman
Doç. Dr. Sabri ÖZTÜRK
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Murat PAKDİL
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DAL
Sakarya Üniversitesi

İmza

.....
S. Öztürk

.....
M. Pakdil

.....
H. Dal

Mezuniyet tarihi:

Doç. Dr. Ömer ÖZYURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Saygı Değer Hocam
ve
Aileme**

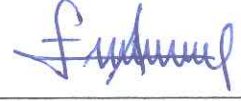
ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Faruk HARMANCI



ÖZET

**CAMIN DELİNMESİNDE KULLANILAN DELME
PARAMETRELERİNİN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE
OPTİMİZASYONU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FARUK HARMANCI
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. SABRİ ÖZTÜRK)**

BOLU, KASIM - 2018

Cam malzeme birçok özelliğinden dolayı beyaz eşya sektörü, mobilya, inşaat, otomotiv, iletişim endüstrileri gibi çoğu alanda kullanıldığından dolayı cam delme işlemine son yıllarda büyük bir önem ve talep vardır. Camın delinmesi proses açısından önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada, cam delme için işlem parametreleri analiz yapılmış ve optimum değerler bulunmuştur. Delik kalitesini artırmak için kesme hızının ve ilerleme miktarının seçimi önemlidir. Deneyler farklı devir (dev/dak) ve ilerlemelerde (mm/s) yapılmıştır. Düz camın delinmesinde aksel kaçıklık değerini azaltmak için gerekli optimum işleme parametreleri araştırılmıştır. Verilerin analizinde Varyans Analizi (ANOVA) ve Monte Carlo simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Ø18,3 mm ve Ø37,4 mm matkap çapları için optimum aksel kaçıklık değerleri sırasıyla 0,11823 mm ve 0,064095 mm olarak bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Cam, Delme, Aksel Kaçıklık, Varyans Analizi(ANOVA), Monte Carlo Simülasyonu

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF CUTTING PARAMETERS DURING DRILLING OF GLASS WITH USING STATISTICAL METHODS

MSC THESIS

FARUK HARMANCI

**BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. SABRİ ÖZTÜRK)**

BOLU, NOVEMBER 2018

Due to its many features, glass has been used in many areas such as the white goods sector, furniture, construction, automotive, communications industries, and so the glass drilling process has a great importance and demand in recent years. Glass drilling has an important place in terms of process. In this study, cutting parameters were analyzed for glass drilling and optimum values were found. It is important to select the cutting speed and feed rate to increase the hole quality. Experiments were carried out at different speeds (rev/min) and feed rates (mm/sec). Optimum cutting conditions during drilling flat glass in order to decrease axial misalignment value has been investigated. In the analysis of the data, variance analysis (ANOVA) and Monte Carlo simulation method were used. The optimum axial misalignment values for $\text{Ø}18,3$ mm and $\text{Ø}37,4$ mm drill diameters were found to be 0,11823 mm and 0,064095 mm, respectively.

KEYWORDS: Glass, Drilling, Axial Misalignment, Analysis of variance (ANOVA), Monte Carlo Simulation

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ.....	xii
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ.....	xiii
TEŞEKKÜR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ.....	4
3. CAM.....	8
3.1 Camın Tarihçesi.....	10
3.2 Cam Hakkında Genel Bilgiler	14
3.2.1 Camın Özellikleri	15
3.3 Camı Oluşturan Ana Maddeler.....	18
3.3.1 Camlaşıcı Olan Oksitler.....	18
3.3.2 Eritici Oksitler	18
3.3.3 Sabitleştirici Olan Oksitler.....	19
3.3.4 Yardımcı Bileşen Olan Maddeler.....	19
3.4 Cam Oluşturan Oksitler	19
3.4.1 Camın İskeletini Oluşturan Oksitler	20
3.4.2 Cam Malzeme Oluşumunu Kolaylaştıran Oksitler	20
3.5 Cam Sanayisinin Ülkemizde Gelişimi	21
3.6 Dünyada Cam Sanayi.....	23
3.7 Camların Yapısı.....	24
3.8 Türkiye’de Cam Sektörü ve Camın Kullanım Alanları	26
3.9 Cam Çeşitleri.....	27
3.9.1 Soda Kalsik Camları.....	27
3.9.2 Kurşun Camları	28
3.9.3 Borosilikat Camları	28
3.9.4 Alüminosilikat Camları	28
3.9.5 Silis Camları.....	29
3.9.6 Bronz Reflekte Camı	29
3.10 Cam Yapı Malzemeleri ve Kullanım Alanları	31
3.10.1 Düz Camlar	31
3.10.2 Levha Şeklindeki Camlar	31
3.10.2.1 Pencere Camı Çeşitleri.....	31
3.10.2.1.1 Normal Pencere Camları	32
3.10.2.1.2 Güneş Kontrol Cam Çeşidi	32
3.10.2.1.3 Mat Olan Camlar	32
3.10.2.1.4 Kristal Olan Camlar	32

3.10.2.1.5 Flot Olan Camlar	32
3.10.2.2 Empire Şeklindeki Camlar	33
3.10.2.3 Güvenlik Camları.....	33
3.10.3 Cam Duvar Tuğlaları.....	33
3.10.4 Cam Döşeme Blokları	34
3.10.5 Cam Çatıların Örtü Malzemeleri.....	34
3.10.5.1 Cam Kiremit Malzemeleri.....	35
3.10.5.2 Ondüle Camlar.....	35
3.10.6 U Profil Şeklindeki Camlar.....	35
3.10.7 Cam Mozaik Malzemeleri	35
3.10.8 Cam Lifler.....	36
3.10.9 Cam Köpük	36
4. CAM ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE İŞLENEBİLİRLİK.....	38
4.1 Cam Üretimi	38
4.1.1 Temel Maddelerin Hazırlanması.....	38
4.1.2 Eritme İşlemi.....	38
4.1.3 Biçimlendirme Yöntemleri	39
4.1.4 Camın Tavlanması.....	39
4.1.5 Camın Temperlenmesi.....	42
4.2 Camın Şekillendirme Yöntemleri.....	46
4.2.1 Sıvama Yöntemi.....	48
4.2.2 Presleme Yöntemi	49
4.2.3 Basma ve Üfleme Yöntemi.....	49
4.2.4 Üfleme ve Üfleme yöntemi.....	50
4.2.5 Döküm Yöntemi.....	51
4.2.6 Düz Plaka Haddelme	51
4.2.7 Yüzdürme Yöntemi	51
4.2.8 Danner Yöntemi	52
4.2.9 Cam Fiberlerin Şekillendirilmesi	52
4.2.10 Savurmalı Spreyleme.....	53
4.2.11 Cam Elyaf Çekilmesi Yöntemi	53
4.2.12 Camın Bitirilme İşlemleri	54
4.2.13 Cam Parça Tasarım Esasları	55
4.3 Matkap İle Cam Delme İşlemi	55
4.3.1 Delik Delme İşlemindeki Adımlar	58
4.3.2 Cam Delme Matkapları İle İlgili Detaylar	68
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	71
5.1 Materyal	71
5.1.1 Deneylerin Malzemeleri	71
5.1.2 Deney Numunelerinin Hazırlanması	71
5.1.3 Cam Delme İşleminde Kullanılan Makineler	76
5.1.3.1 Retatek Cam Delme Makinesi.....	76
5.1.3.2 Glassline Cam Delme Makinesi	77
5.1.4 Cam Delme İşleminde Kullanılan Matkaplar	79
5.2 Yöntem.....	80
5.2.1 Deneylerin Yapılışı.....	80
5.2.2 Koordinat Ölçüm Makinesi (CMM).....	83
5.2.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	87
5.2.4 Varyans (ANOVA) Analizi	91

5.2.5	Monte Carlo Yöntemi.....	92
6.	ELDE EDİLEN DENEYSEL SONUÇLAR	94
6.1	İstatistiksel Analiz ve Optimizasyon	99
6.2	Kesme Parametrelerinin Kesici Takım Üzerindeki Etkisi	112
6.3	Ø37.4 mm Cam Delme Matkabı İçin SEM Sonucu	113
7.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	115
8.	SONUÇ VE ÖNERİLER	116
9.	KAYNAKLAR	118
10.	ÖZGEÇMİŞ.....	124



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. SiO ₂ 'nin kristal (a) ve amorf (b) yapısı.....	2
Şekil 2.1. Obsidyen.....	4
Şekil 2.2. Kuvars	5
Şekil 2.3. İlk cam örnekleri.....	6
Şekil 3.1. Kristal ve amorf yapıda meydana gelen hacim değişimi	9
Şekil 3.2. Cam ve çeliğin gerilme-gerinim eğrilerinin karşılaştırılması.....	18
Şekil 3.3. Bronz reflekte cam.....	30
Şekil 4.1. Camın tavlama planı	41
Şekil 4.2. Tempersiz cam bükme testi	46
Şekil 4.3. Temperli cam bükme testi	46
Şekil 4.4. Tipik bir cam şekillendirmede proses sıralaması.....	47
Şekil 4.5. Sıvama ile şekillendirme yöntemi.....	48
Şekil 4.6. Düz cam parçaların kalıp içerisinde basılarak preslenmesi.....	49
Şekil 4.7. Basma ve üfleme yönteminde işlem sırası	50
Şekil 4.8. Üfleme ve üfleme yönteminde işlem sırası	50
Şekil 4.9. Düz plaka haddeleme yöntemi.....	51
Şekil 4.10. Levha camı üretiminde kullanılan yüzdürme yöntemi.....	52
Şekil 4.11. Danner yöntemi ile cam boruların şekillendirilmesi.....	52
Şekil 4.12. Sürekli cam elyafların çekilmesi yöntemi	54
Şekil 4.13. Deliğin cam kenarına olan mesafesi	56
Şekil 4.14. İki delik arası mesafe.....	57
Şekil 4.15. Camın köşesinden deliğe olan mesafe	57
Şekil 4.16. Camın pozisyon alması ve sıkıştırılması	62
Şekil 4.17. Matkabın yaklaşma pozisyonu ve yönü	62
Şekil 4.18. Matkabın cam içinde ilerlemesi	63
Şekil 4.19. Matkabın camı delmesi	63
Şekil 4.20. Delme işleminde matkap sırası	64
Şekil 4.21. Delme işleminin bitişi	64
Şekil 4.22. Delme işlemi için girilen parametrelerin kontrol ünitesi	65
Şekil 4.23. Camın vakumlanması.....	65
Şekil 4.24. Cam sıkıştırmada kullanılan baskı plakası	66
Şekil 4.25. Camın delinmesi	66
Şekil 4.26. Delinmiş camın hatta ilerlemesi	67
Şekil 4.27. Cam yıkama bölümü	67
Şekil 4.28. Matkap detayları	68
Şekil 4.29. Örnek matkap detayları	69
Şekil 4.30. Matkap çapı görünümü.....	69
Şekil 4.31. Soğutma suyunun verildiği delik	70
Şekil 4.32. Kırılmış matkap ucu resimleri	70
Şekil 5.1. Bronz reflekte camı için Ø18,3 mm matkap takımı kullanılarak elde edilen deney numuneleri.....	74
Şekil 5.2. Düz cam için Ø37,4 mm matkap takımı kullanılarak elde edilen deney numuneleri.....	74
Şekil 5.3. Düz cam için farklı matkap çapları kullanılarak elde edilen deney numuneleri	75

Şekil 5.4. Retatek cam delme makinesi	76
Şekil 5.5. Glassline cam delme makinesi.....	79
Şekil 5.6. Matkap resimleri	80
Şekil 5.7. CMM (Koordinat Ölçüm Makinesi)	81
Şekil 5.8a. Prob ucun delik yüzeyine teması	81
Şekil 5.8b. Prob ucun delik yüzeyine teması	82
Şekil 5.8c. Prob ucun delik yüzeyine teması.....	82
Şekil 5.9. Cihazın mıknatıslı cam sabitleme aparatları.....	86
Şekil 5.10. Prob ucun hareketini gösteren ekran	86
Şekil 5.11. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)	88
Şekil 5.12. SEM cihazı sonuç ekranı	88
Şekil 5.13. Taramalı elektron mikroskobunun şematik görünümü	89
Şekil 5.14. Elektron demeti ile numune etkileşimi.....	89
Şekil 6.1. Düz cam için Ø37,4 mm matkap takımı kullanılarak 2500 dev/dak ve 1,5 mm/s ilerlemede ortaya çıkan SPM eksenel kaçıklık sonucu	94
Şekil 6.2. Düz cam için Ø37,4 mm matkap takımı kullanılarak 2000 dev/dak ve 1,65 mm/s ilerlemede ortaya çıkan SPM eksenel kaçıklık sonucu	95
Şekil 6.3. Bronz reflekte camı için Ø18,3 mm matkap takımı kullanılarak elde edilen deney sonuçları	97
Şekil 6.4. Düz camlar için Ø37,4 mm matkap takımı kullanılarak elde edilen deney sonuçları	97
Şekil 6.5. Düz cam için farklı matkap çapları kullanılarak elde edilen deney sonuçları.....	98
Şekil 6.6. Ø18,3 mm matkap takımı için normal yüzdelik olasılık ve harici kalıntılar grafiği.....	103
Şekil 6.7. Ø18,3 mm matkap takımı için gerçek ve tahmin edilen değerlerin grafiği	103
Şekil 6.8. Ø18,3 mm matkap takımı için takım dönme hızı ile ilerleme miktarının eksenel kaçıklığa olan etkisi	104
Şekil 6.9. Ø18,3 mm matkap takımı için eksenel kaçıklığa kesme parametrelerinin etkisi	104
Şekil 6.10. Ø18,3 mm matkap takımı için eksenel kaçıklık özet raporu grafiği. 105	
Şekil 6.11. Ø18,3 mm matkap takımı için Monte Carlo özet raporu grafiği	106
Şekil 6.12. Ø37,4 mm matkap takımı için normal yüzdelik olasılık ve harici kalıntılar grafiği	108
Şekil 6.13. Ø37,4 mm matkap takımı için gerçek ve tahmin edilen değerlerin grafiği	109
Şekil 6.14. Ø37,4 mm matkap takımı için takım dönme hızı ile ilerleme miktarının eksenel kaçıklığa olan etkisi	109
Şekil 6.15. Ø37,4 mm matkap takımı için eksenel kaçıklığa kesme parametrelerinin etkisi.....	110
Şekil 6.16. Ø37,4 mm matkap takımı için eksenel kaçıklık özet raporu grafiği. 111	
Şekil 6.17. Ø37,4 mm matkap takımı için Monte Carlo özet raporu grafiği	111
Şekil 6.18. Ø37,4 mm matkap takımı için 100x büyütme ve 100 µm yüzey pürüzlülüğünün SEM görüntüsü.....	113

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1. Delik delme işlemindeki parametreler	58
Tablo 4.2. Delik çaplarına göre örnek iş mili devirleri	61
Tablo 5.1. Retatek makinası Ø18,3 mm matkap takımı için devir, ilerleme ve cam kalınlığı değerleri	72
Tablo 5.2. Retatek makinası Ø37,4 mm matkap takımı için devir, ilerleme ve cam kalınlığı değerleri	73
Tablo 5.3. Retatek-Glassline-Taiwan makinaları farklı matkap çapları için devir, ilerleme ve cam kalınlığı değerleri	73
Tablo 6.1. Retatek makinası Ø18,3 mm matkap takımı için sonuçlar	95
Tablo 6.2. Retatek makinası Ø37,4 mm matkap takımı için sonuçlar	96
Tablo 6.3. Retatek-Glassline-Taiwan makinaları farklı matkap çapları için elde edilen sonuçlar	96
Tablo 6.4. Ø18,3 mm matkap takımı için varyans analizi.....	100
Tablo 6.5. Ø18,3 mm matkap takımı için tepki yüzeyinin kuadratik model ANOVA analizi	101
Tablo 6.6. Ø18,3 mm matkap takımı için analiz değerleri.....	102
Tablo 6.7. Ø37,4 mm matkap takımı için tepki yüzeyinin doğrusal model ANOVA analizi	107
Tablo 6.8. Ø37,4 mm matkap takımı için analiz değerleri.....	108

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

°C	: Celsius
δ	: Poisson Oranı
N	: Newton
N.m	: Newton Metre
μm	: Mikrometre
cm	: Santimetre
m^2	: Metrekare
m^3	: Metreküp
g	: Gram
J	: Joule
kg	: Kilogram
m	: Metre
W	: Watt
A	: Tavlama Sabiti
σ	: Gerilme
σ_0	: Başlangıç Gerilmesi
keV	: Kilo Elektron Volt
kV	: Kilovolt
dev	: Devir
dak	: Dakika
mm	: Milimetre
s	: Saniye
τ	: Gerilme
yy	: Yüzyıl
K°	: Kelvin
t	: Zaman
L	: Camın Kalınlığı
θ	: Açı
\emptyset	: Çap
rpm	: Bir Dakikada Gerçekleşen Devir Sayısı
dB	: Desibel
df	: Degree of Freedom (Serbestlik Derecesi)
Pa	: Pascal
ASTM	: Amerikan Deneysel Malzeme Standartları
As ₂ O ₃	: Arsenik Trioksit
BaO	: Baryum Oksit
B ₂ O ₃	: Bor Oksit veya Diboran Trioksit
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
CaO	: Kalsiyum Oksit veya Kireç
CdO	: Kadmiyum Oksit
CMM	: Koordinat Ölçüm Makinesi
CO ₂	: Karbon Dioksit
Ga ₂ O ₃	: Galyum Oksit
GeO ₂	: Germanyum Oksit
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı
İ.Ö.	: İsadın Önce
İ.S.	: İsadın Sonra

KNO₃	: Potasyum Nitrat
K₂O	: Potasyum Oksit
La₂O₃	: Lantanyum Oksit
Li₂O	: Lityum Oksit
MgCO₃	: Magnezyum Karbonat
MgO	: Magnezyum Oksit veya Magnezya
MnO₂	: Mangan Dioksit
M.Ö.	: Milattan Önce
M.S.	: Milattan Sonra
Na₃AlF₆	: Kriyolit
Na₂O	: Sodyum Oksit
Na₂SO₄	: Sülfür
PbO₂	: Kurşun Dioksit
P₂O₅	: Fosfor Pentaoksit
Rb₂O	: Rubidyum Oksit
Sb₂O₅	: Antimuan Pentaoksit
Sc₂O₃	: Skandiyum Oksit
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SiO₂	: Silisyum Dioksit veya Silika
SKS	: Soda-Kireç-Silis
SnO₂	: Kalay Oksit
SSCB	: Sovyet Sosyalist Cumhuriyeti Birliği
VIF	: Varyans Enflasyon Faktörü
Y₂O₃	: Yitrium Oksit
ZnO	: Çinko Oksit

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanmasının her aşamasında benden bilgisini ve tecrübesini eksik etmeyen ve bana daima etkin bir şekilde yol gösteren, çalışmalarım boyunca her türlü desteği sağlayan ve değerli görüşlerinden yararlandığım saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Sabri ÖZTÜRK'e en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte yine yardımlarını benden esirgemeyen Abant İzzet Baysal Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü araştırma görevlileri Mehmet Fatih KAHRAMAN, Bahadır AKKURT ve Habibullah BİLGE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez numunelerinin elde edilmesi ve numunelerin deney sonuçları için yardımlarını ve imkanlarını esirgemeyen Cam Merkezi Yorim Bolu Fabrikasına ve Arçelik Bolu Pişirici ve Isıtıcı Cihazlar İşletmesine teşekkürlerimi sunarım.

Son olarakta lisans ve yüksek lisans eğitimlerim boyunca benden her ne olursa olsun maddi ve manevi olarak desteklerini esirgemeyen ve benim yanımda olan bugünlere gelmemde emekleri çok fazla olan saygı değer aileme en içten dileklerle şükranlarımı sunarım.

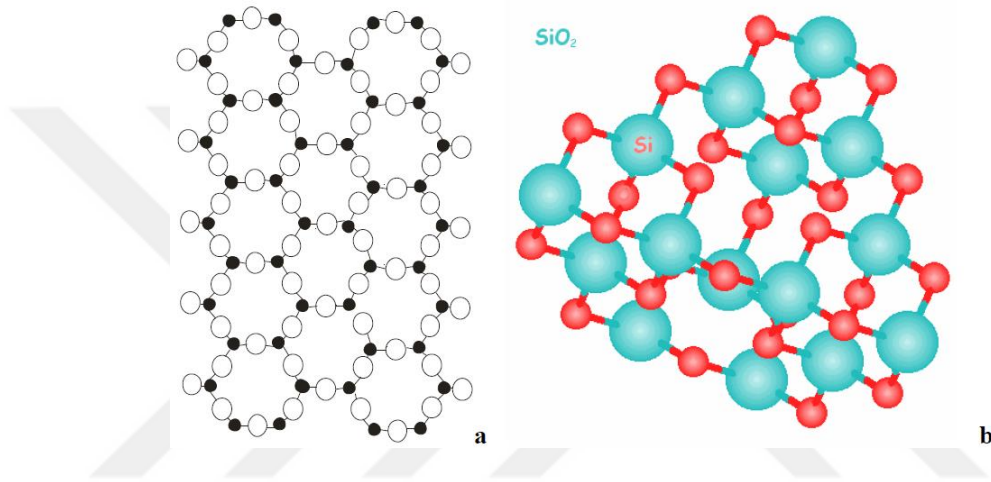
1. GİRİŞ

Cama, malzeme olarak bakıldığında amorf olan bir katı malzemedir. Amorf bir yapı olması sebebi ile davranış açısından bakıldığında sıvı durumda olan bir maddeyi akla getirmektedir. Sıvı haldeki maddelerin umumi özelliklerinden biri olan viskozite, camın içinde de bulunmaktadır. Başka bir açıdan bakar isek cam akışkan halde olan bir madde olup, bu özelliği ile beraber akış süresi bir hayli uzundur. Camın akışına bakılmak istenirse bir insan bunu gözlemleyemez çünkü bu durum yaşam süresinin üzerinde bir durumdur. Bu nedenlerden dolayı camı sıvı bir madde olarak tanımlamamızda hiçbir sakınca bulunmamaktadır. Camın katılar ile kıyaslandığında bariz bir erime sıcaklığı bulunmamaktadır. Cam sıvı bir davranış göstermekte olan katı bir faz olarak da tanımlanabilir (Karaağaç, 2017).

Camın elle tutulmak istendiğinde sert ve durgun bir etki yaptığı görülmektedir. Cam malzemeyi sert bir yere vurduğumuzda kırılma etkisi göstermektedir. Bu yüzden kimyacılar camı, içinden su içtiğimiz bir cam kabın sıvı olduğunu söylemektedirler. Bunlar soğumuş olan ve durgun olan camın belirli özellikleridir. Hâlbuki cam yüksek ısılarla çıkarıldığı zaman camın özellikleri tamamen değişim göstermektedir. İlk önce yumuşama gösterir ve daha sonra akıcılık kazanmaktadır. Eğer yeterli miktarda ısı uygulanırsa cam malzeme su gibi akmaktadır. Cam malzeme bir maden olarak tanımlanmaktadır.

Fakat diğer madenlerle kıyaslandığında önemli oranda bir değişikliği bulunmaktadır. Bu değişiklik erime noktası değildir, yumuşama noktasıdır. Bu önemli özellik sebebiyle camın içinde bulunduğu ortam ısısı artış gösterir ise cam malzeme daha çok sıvılaşma gösterir ve akıcı hale geçer. Cam, gerçek manada bakıldığında yapısı açısından hayret verici yalınlıkta bir maddedir. Silisyum dioksit (SiO_2) ve maden oksitleri ile beraber oluşan bir karışımdır. Asıl olarak cama özellik kazandıran atomun yapısındaki enteresan olan bir durumdur. İşte cam malzemenin bu ilginç özelliklerinden dolayı ne tam bir sıvı gibi, ne de kristal yapıda olan gerçek bir katı gibidir. Bu iki durumun arasında yer alan önemli bir yere sahiptir.

Bu önemli özelliğe göre cam malzeme katılma derecesinin altında olan dondurulmuş bir sıvı olarak tanımlanmaktadır. Cam malzemenin iç yapısına bakıldığı zaman diğer katılarda olan atomların ki gibi düzgün bir kristal dizilişinin olmadığı görülmektedir. Yani bu durumu biraz açarsak; cam malzemedeki atomların dizilişi bir sıvı malzemede olduğu gibi rastgeledir (Şekil 1.1). Diğer bir ifadeyle cam malzeme sıvı olarak tanımladığımız yani çok kıvamlı olan bir camdır. Sonuç olarak bu sebeplerden dolayı camda yerçekiminden etkilenme olmaz ve aldığı şekli koruma özelliğine sahiptir (Küçükerman, 1985).



Şekil 1.1. SiO₂'nin kristal (a) ve amorf (b) yapısı (Küçükerman, 1985).

Çoğu kimyasal maddeler (soda, boraks vb.) sıvı haldeki camda, cam malzemenin sertleşmesi gibi türlü özelliklerin camın içine katılması ile kullanılmaktadır. Karakter olarak camın oluşması tamamen soğutma hızlarına bağlı olup, atomlar arasındaki karışık durumda olan kovalent ve iyonik bağların yapısına ihtiyaç vardır. Cam malzeme sıvı durumda iken soğumaya geçtiğinde, rastgele bir ağ oluşturmaktadır. Camın kimyasal olarak dayanımı, diğer malzemelere göre çok daha fazla dayanıma sahiptir. Ayrıyeten mekanik olarak dayanıma örnek; kurşun geçirmez camlardır (Megep, 2008).

Cam malzeme üretiminin yanında camın işlenmesi de önemli bir yere sahiptir. Araştırdığım bilgiler doğrultusunda cam malzemeye uygulanan temel işlemler şu şekildedir; cam malzeme üretimi, kesme işlemi, kenar işleme, rodajlama delik delme işlemi, baskı yapma işlemi, tavlama ve temperleme işlemleridir. Bu işlemlerden tez konusu ile ilgili olan bölüm anlatılmıştır.

Cam malzemenin delinmesi cam delme matkapları ile yapılmaktadır. Cam delme işleminin yapıldığı makina ve makinanın özellikleri anlatılmıştır. Aynı zamanda deneylerde kullanılan dikey tip olan CMM (Koordinat Ölçüm Makinesi) cihazı da anlatılmıştır. Cam delme işleminde kullanılan matkaplar SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) cihazında incelenmiş ve görüntülenmiştir.

Cam delme işleminde her bir delik farklı devir ve ilerlemelerde delinmiştir. Delik delme işleminde bazı delikler farklı çaplardaki matkaplar ile delme işlemi uygulanmıştır. Delik delme işlemi Cam Merkezi Yorim Bolu Fabrikasında bulunan cam delme makinası ile delinmiştir. Numunelerle ilgili deneyler Arçelik Bolu Pişirici ve Isıtıcı Cihazlar İşletmesinde yapılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan cam malzemeler, makineler ve takımlar anlatılmış olup elde edilen deneysel sonuçlar ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Cam malzeme işleme yıllardır yapılmakta olan bir uygulama şeklidir. Cam ile ilgili bütün kaynaklar araştırıldığında camın asıl olarak tabiat üzerinde esasen var olduğundan bahsedilmektedir. Yanardağ patlaması, şimşek çakmaları ve meteor düşmeleri sonunda erimekte olan kayaların ani soğuma sonucu oluştuğu söylenenler arasındadır (Karaağaç, 2017).

Cam malzeme, doğada obsidyen ve kuvars olarak bulunmaktadır. Milyonlarca yıl önce volkanik vakalar sonucunda silikanın ergimesi ile obsidyen oluşmuştur. Obsidyen, genel olarak bakıldığında koyu kırmızımsı, kahverengi, yarı geçirgen bir madde olması ve bileşim olarak da pencere camı olan soda, kireç ve silika kimyasal bileşimlerinden farklı değildir (Şekil 2.1). Obsidyen, camın karakteristik özelliklerini barındırdığı için çeşitli dönemlerde farklı yöntemler ile şekillendirilmiştir. Bu şekilde baktığımız zaman cam ürünleri, günümüzde bilinen görevlerinden değişik olarak çok önceleri mızrak ucu, bıçak ve balta biçiminde kullanımı ile ilk cam ürünleri olarak kullanılmaktaydı. Buda cam malzemenin kesici özelliğini ortaya çıkarması bakımından ilginç bir durum olarak bilinir (Megep, 2008).



Şekil 2.1. Obsidyen (<https://tr.wikipedia.org/wiki/Obsidyen>).

Obsidyen; bıçaklar, ok başları, para ve mücevher üretimi için kullanılmıştır. Antik Roma tarihçisi olan Pliny, Fenike tüccarlarının M.Ö. 5000 zamanında Suriye'nin ilk camını yaptıklarını ileri sürmüştür.

Fakat arkeolojik kanıtlara göre, ilk camın yapımı Doğu Mezopotamya ve Mısır'da M.Ö. 3500 zamanında yapılmıştır ve ilk cam kaplar Mısır ve Mezopotamya'da M.Ö. 1500 zamanlarında yapılmıştır (Karasu vd., 2017).

Farklı bir doğal cam olan kuvars, renksiz ve saydam özelliktedir (Şekil 2.2). İşlenmiş cama benzemektedir. Doğada kristal şeklinde bulunmaktadır. En büyük kuvars kristallerine kayaçlar içinde rast gelmek mümkündür. Renkli görünen bu kuvars kristalleri, mücevher yapımında kullanıldığından önemli bir yere sahiptir (Megep, 2008).



Şekil 2.2. Kuvars (<http://www.jemad.com.tr/modul/index/menu/Kuvars/45>).

Camın gelişimine bakıldığı zaman, ilk olarak bakıldığında uygun olan kum malzemenin bol olduğu ve seramik yapımının gelişmekte olduğu bölgelerde üretildiği bilinmektedir. Geçmiş zamanlara bakıldığında yaygın olarak seramik teknolojisi geliştirilmiş medeniyetlerin fazla sayıda olduğu bilinmektedir. Böyle bir yaklaşım söz konusu olduğunda Mezopotamya, Mısır ve Doğu Akdeniz gibi birçok alanda ilk cam malzeme örnekleri ile karşılaşmak mümkün olabilmektedir. Yalnız, günümüze bakıldığında ulaşılan delillere dayanarak cam malzeme hakkında daha çok Mısır ve Mezopotamya'da cam ürünlerinden söz edilmektedir (Megep, 2008).

Cam ile ilgili çoğu yayında, cam malzemenin bir rastlantı sonucu ortaya çıktığı söylenmektedir. Bu söylemler arasında, en uygun hikâye Pliny tarafından ortaya atılmıştır. Pliny, hikâyesine göre bir ticaret gemisindeki insanlar kıyıya çıkmaktadır. İnsanlar nehir yatağında ateş yakarlar.

Sonraki gün yakmış oldukları ateşin içinde bulunan küllerin arasında parlak ve saydam olan cam parçalar bulunmuştur. Bu hikâyenin gerçekliği konusunda net bir bilgi yoktur. Lakin akla uygun bir olaydır. Zira odun ateşinin camlaşma özelliğini sağlayacak derecede ısılara ulaşip ulaşamayacağı tartışma konusu olmuştur. Fakat yapılan deneylerde malzeme uygun olarak düzenlenmişse camlaşmayı sağlayacak olan ısıya ulaşıldığı kanıtlanmıştır.

Fakat unutulmaması gereken diğer bir husus da kum bulunan ve ateşin yakıldığı her yerde bu gibi örneklerin her zaman bulunmuş olduğu söylenmektedir. İlk camcılık numuneleri, özellikle kolay elde edilebilen ve mücevherimsi yapısı ile dikkatleri üzerine çekmektedir. Bu numuneler; taş ve toprak boncuklarının, camsı boncukların şekline dönüştürülmesidir (Şekil 2.3). Daha sonra bu cam boncuklar renklendirilmiştir (Küçükerman, 1985).



Şekil 2.3. İlk cam örnekleri (Küçükerman, 1985).

İnsanların cam yapmayı ne zaman, nerede ve nasıl öğrendikleri tam olarak bilinmemektedir. Efsanelere göre Fenikeli denizci olan ama tarihçiler tarafından bize söylenen bir Roma denizcisi olan bir insan, bir akşam yemeğini plajda pişirdiğini söylemektedir. Yemekte kullandığı tencerelerde hidratlı doğal sodyum karbonat ile ev tuzunu karıştırmaktadır. Pişirme işlemine geçildiğinde tencerenin altındaki kumlarda ısınınca bilinmeyen bir sıvının aktığı görülmektedir. Bu da insan yapımı camın kaynağı olmuştur (Axinte, 2011).

Anadolu Selçuklular zamanına ait türlü cam örnekleri, Kubadabad sarayı kazıları yapılırken ele geçirilmiştir. Saraydan ele geçirilen çok miktarda cam

malzeme olan tabak, kadeh, şişe, vazo, vitray camı vb. malzemeler cam sanatı açısından önemlidir. Ayrıyeten Samsat kazıları yapılırken de cam malzemeler bulunmuştur (Gök, 2004).

Camın birçok mükemmel mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı havacılık, astronomi, mobilya alanları, uçaklarda, iletişim endüstrilerinde, mikroelektronik vb. uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Öztürk, 2014). Çoğu araştırmacı cam malzeme ile ilgili çalışmalar yaparak dayanım, aşınma, kesme parametreleri, cam işleme takımlarının performansı vb. konularda incelemeler yaparak belirli sonuçlar elde etmeye çalışmışlardır (Akbaş, 2010; Akçay vd., 2014; Alabaş vd., 2011; Apay vd., 2013; Arslan vd., 2013; Axinte, 2011; Bayraktar vd., 2017; Blank vd., 1999; Calvo vd., 2015; Cheng vd., 2014; Çavuş vd., 2003; Dursun vd., 2010; Eker vd., 2016; Erdin vd., 1986; Ergün vd., 2006; Gök, 2004; Gökkaya vd., 2004; Gültekin vd., 2007; Gürsoy vd., 2006; Groover, 2007; Habalı vd., 2006; Hançerlioğulları, 2006; Kaner, 2008; Kantur, 2009; Kapakin, 2006; Karaağaç, 2017; Karaca, 2016; Karasu vd., 2017; Kayri, 2009; Korkut vd., 2003; Kubátová vd., 2017; Küçükerman, 1985; Leitch, 2005; Megep, 2008; Megep, 2011; Megep, 2013; Öbelik, 2011; Öcal vd., 2017; Özdemir vd., 2006; Özdoğan, 2003; Özgül, 2009; Öztürk, 2014; Persson, 1983; Reckens, 1998; Sakarya vd., 2017; Sayuti vd., 2011; Tezcan, 2011; Türkbaş vd., 2007; Tobb, 2012; Tosun, 2013; Tönshoff vd., 1994; Ünal, 2017; Yağmur vd., 2013; Yavuz vd., 2017; Yazar vd., 2013; Zanotto vd., 2017). Yapılan bu bütün çalışmalar gelişen teknoloji ve endüstrinin hızlı bir şekilde ilerlediği ve çoğu çalışmanın devam ettiği bilinmektedir.

Diğer bir ifadeyle, cam malzemeyi tarif edecek olursak çeşitli tanımlamalar yapılmıştır. Bu tanımlamalar bazı isimler tarafından yapılmıştır. Camın, en güncel ve belirgin tanımı Mauro ve Varshneya tarafından ortaya atılmıştır: “Isıtıldığı zaman, devamlı bir biçimde sıvıya dönüşmekte olan, kristal bir yapıya sahip olmayan bir katıdır.” Böyle bir tanımlama, elastik bir malzeme olan camı, rijit olmayan bir katı olarak da sınıflandırmaktadır (<http://www.gca.com/cam-kutuphanesi/cam-nedir>).

Cam malzemenin kullanımına bakıldığında ekonomik, kaliteli ve düşük maliyetli olması ile birçok alanda farklı üretimleri ile artış göstermeye devam etmektedir.

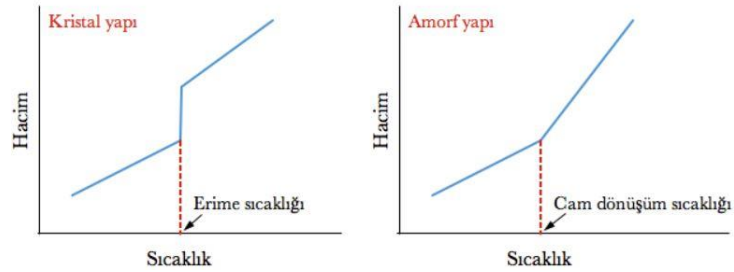
3. CAM

Cam, aşırı derecede soğutulmuş olan alkali ve toprak alkali metal oksitleri ile birlikte diğer bazı metal oksitlerin çözülmesinden ortaya çıkan bir sıvı malzeme olup temel maddesi silis (SiO_2) olarak bilinmektedir. Cam malzemeler erimiş haldeki amorf durumda olan yapılarını koruyarak katılaşıma gösteren inorganik cisimler olarak da tanımlanabilmektedir. Üretim esnasında hızlı bir şekilde soğuyarak kristal yapı yerine amorf bir yapı halini almaktadır (Ünal, 2017). Birçok sözlük ve ansiklopedilerde camın tanımı yapılmaktadır. Merriam-Webster sözlüğünde camın tanımı: Kristalizasyon olmadan bir eriyik halden soğutularak sert duruma geçen, çeşitli şekilsiz malzemelerden herhangi biridir. Vikipedi ansiklopedisinde cam tanımı: Cam malzeme geniş anlamlarda tanımlanabilmektedir. Kristal içermeyen (amorf) bir yapıda olan her katıyı kapsayan, sıvı halden ısıtıldığında cam geçişi sergilemekte olan bir malzemedir (Zanotto ve Mauro, 2017).

Kimyasal etkileşimlere karşı direnir, geri dönüşümü kolaydır, plastikler gibi kimyasal sızıntı olmaz ve aynı zamanda aşırı soğuk ve sıcaklığa dayanabilir. Piyasada mevcut pek çok camsı malzeme bulunmaktadır, ancak soda kireç camı yaygın olarak kullanılmakta olan ve piyasada kolayca bulunabilen en yaygın cam türüdür. Soda kireç camı da endüstride önemli bir rol oynamaktadır, böylece birçok uygulamada üretim için çeşitlendirilmiş işlevsellikleri ile imalat talebi artmaktadır. (Sayuti vd., 2011).

Cam bir tür inorganik kırılabilir yapıda olan bir malzemedir. Sertlik, görünüm, iyi bir sıcaklık kararlılığı, homojenlik ve korozyon direnci gibi birçok mükemmel özelliklere sahiptir. Bu gibi özellikler nedeniyle cam optik endüstrisinde, yarı iletken endüstrisinde, askeri sanayisinde ve birçok benzeri yerlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat bu gibi özelliklerin yanında cam yüksek kırılabilirlik gösteren ve düşük mukavemet gibi bazı zayıf özelliklere sahiptir. Özellikle kesme ve öğütme işlemlerinde mikro çatlaklıklar bulunmaktadır. Çağımızda cam biyomedikal endüstrisinde ve elektron endüstrisinde önemli bir rol oynamaktadır (Cheng vd., 2014).

Camların kristal yapılara sahip olamamasının nedeni; kristalleşme gerçekleşmeden katılaşma özelliği gösterdiklerindedir. İşte bu kristalleşme olayının gerçekleşmemesi tamamen katılaşma süreci ile alakalıdır. Katılaşma ifadesi bir fazdan başka bir faza geçiş demektir. Cam malzemelerinin katılaşması, katı oluşumu gerçekleştiği esnada sıvı fazındaki düzensiz yapıların korunduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla ile faz yapısında herhangi bir değişim görülmemektedir. Sonuç olarak katılaşma olayı bir faz dönüşümü değil de sıvı halin akışkanlığının sıcaklık miktarı azaldıkça bir yerde tamamen kaybolması ile gerçekleşmektedir. Akışkan olma özelliğinin tamamen kaybolduğu noktaya cam dönüşüm sıcaklığı ismi verilmektedir. Katılaşma olayı, cam malzemelerde bir faz dönüşümü şeklinde meydana gelemediği için malzemenin katı ve sıvı fazındaki birtakım özellikleri arasında ani değişimler gözlemlenmektedir. Kristal ve amorf yapıda olan katıların sıcaklık değişimlerine bağlı olarak hacimlerinin nasıl bir değişim gösterdiği verilmiştir. Kristalleşme ile meydana gelen katı malzemelerin erime ya da katılaşma noktasında, hacim olarak ani bir azalma meydana gelmektedir. Cam malzeme katılaşma gösterdiğinde ise, atom düzeninde kesin bir değişim olmaması sebebi ile malzemenin hacmi azalmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Kristal ve amorf yapıda meydana gelen hacim değişimi (<https://muhendishane.org/kutuphane/temel-malzeme-bilgisi/amorf-yapida-ki-seramikler/>).

Cam dönüşüm sıcaklığı her malzemede erime noktasından daha düşük seviyelerde bir sıcaklık değerine denk gelmektedir. Yani cam malzeme meydana getirebilmek için sıvı fazındaki bir malzemenin erime noktasının altında bir yerde soğuma işlemi uygulandığında halen sıvı fazda kalması gerekmektedir. Sonuç olarak sıvı halin kristalleşme durumuna geçmemesi için hızlı bir biçimde soğutulması gerekmektedir (<https://muhendishane.org/kutuphane/temel-malzeme-bilgisi/amorf-yapidaki-seramikler/>).

3.1 Camın Tarihçesi

Cam malzemenin bulguları tarihin sayfalarında yerini kaybetmiştir. Ancak 4000 sene öncelerine kadar dayandığı bilinmektedir. Cam malzeme yapımının bulgularında iki temel unsur vardır. Bunlardan birincisi, herkesin bildiği kumun soda ve kireç ile birlikte ısıtılarak yeni bir malzeme ortaya çıkması sağlanmaktadır. Bu ortaya çıkan malzeme cam olarak adlandırılmaktadır. Dönüşen bu yeni malzeme çok sert ve pürüzsüz bir haldedir. İkincisi ise, önemli bir yere sahip olan şeffaf cam malzeme elde edilmesi için kullanılmakta olan kimyasal maddelerin belirli oranlarda ilave edilmesi ile ilgili buluştur.

Gerçek camın meydana gelmesindeki ilk aşama bir kaza sonucunda meydana gelmiş olmalı, ancak ikinci durum günümüzde isimleri bilinmeyen kimyacıların belirli oranlarda defalarca denemeleri ile bulmalarıdır. İlk zamanlarda cam malzemeler katı parçalar halindeydi, şekilli olan cam ürünler ise daha sonraları yapılmıştır. Bu şekildeki işlemler cam malzemenin tahtadan veya çamurdan bir kalıbını oluşturup, eriyik haldeki cam malzemenin bu kalıbın etrafına sardıktan sonra, cam ürünün ortaya çıkması ile birlikte içindeki çamur veya tahta kalıbın çıkarılması ile işlem sona ermektedir.

M.Ö. 1200 yıllarında cam malzeme, açık halde olan bir kalıbın üzerine sıkıştırılarak yapılmaktaydı. Yüzyıllar boyunca cam malzeme, mücevher yapımında, takıda, yer ve duvar mozaik yapımında kullanılmıştır. Cam malzemenin kullanım amaçlarının geniş bir yere sahip olması ile cam ürün üfleme yönteminin icadı gerçekleşmiştir. M.Ö. 20 yıllarında bu şekilde cam üretme yönteminin kullanılması ile endüstriyel bir ihtilal yaratılmıştır. Cam ürünlerinin gösterişli bir malzeme üretiminden işlevsel olan bir malzeme üretimine geçmesi sağlanmıştır.

Pompeii adında bir kişi M.S. 79 yıllarında yok olduğunda bu ihtilal ile ilgili deliller bırakmıştır. Üzerleri kaplanmış şekilde olan cam eşyaların kalıntıları, cam malzeme üretiminin çok gelişmekte olan bir seviyede olduğunu ve pencere cam ürünlerinin nihayet iyi bir kalitede üretimi yapıldığını göstermekteydi. M.S. 330 yıllarında Roma İmparatoru olan Konstantinapol camın üfleyici olan malzemelerini Konstantinopolis'e göndermiştir.

Bizans dönemindeki cam işçileri mozaik ve renkli cam malzeme üretimlerinde usta hale gelmişlerdir. Renkli olan pencere camları ilk olarak bu dönemde ortaya çıkmıştır. Cam malzeme sanatı Fransa'ya geldikten sonra, cam ürünleri kullanmaya başlayanların yüzdesi oldukça artış göstermiştir. Ortaçağın farklı dönemlerinde cam ürün endüstrisi İslam dünyasında canlı hale gelmiştir. Bu dönemden sonra Venedikli üreticiler ile Avrupa'da yeniden önem kazanmıştır. M.S. 1159 yıllarında St. Marcus Katedrali yapıldığında bütün bina şeklinin İncili anımsatan cam malzeme olan mozaik ile kaplanması 250 yıl kadar sürmüştür. Aynaların ise cıva ile kaplanması 1369 yıllarında gerçekleşmiştir. 1700 yıllarında Venedik'te 300 adet cam mozaik fabrikası ve üretim atölyeleri mevcut iken, 19.Yüzyılda ise yalnızca bir adet kalmıştır. Buda mozaik üretiminin kapanmasının bir göstergesidir (Öcal vd., 2017).

Cam malzeme antik çağlardan beri süs eşyası ve inşaat malzemesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Cam malzemenin ilk defa kesin olarak hangi zamanda yapıldığı bilinmemektedir. Cam malzeme çok eski bir döneme aittir. Cam üzerinde tarih bulunan en eski cam malzeme M.Ö. 1527-1551 yıllarında yaşamış olan firavuna ait olan büyük bir boncuk malzemedir. Cam malzeme Orta Asya'dan gelen Selçuklular zamanında yaygın hale getirilmiştir. Artuklular döneminde ise medrese ve camilerde cam ürünler kullanılmıştır. İstanbul'un alınması ile birlikte, 16. ve 17. Yüzyıllarda cam sanayisinde büyük oranda gelişmeler oldu.

Cam malzeme antik çağlardan bu tarafa cam üretiminin gelişmesi ve değişimlerine bakıldığında cam yapım tekniklerindeki gelişmeler dikkat çekmiştir. Bundan dolayı da farklı dönemlerde cam yapım teknikleri geliştirilmeye devam etmiştir. Cam malzemenin yapım teknikleri arasında ilk önce iç kalıplama tekniği yer almaktadır. Diğer teknikler; üfleme tekniği, indirme-çökertme tekniği, kalıba basma tekniği ve mozaik tekniğidir. Tarih boyunca gelişen teknikler ile camcılık gelişmeye devam etmiştir. Günümüzde de aynı ve benzer teknikler ile cam malzeme üretilmeye devam etmiştir. Günümüzde tasarım ve çizimler ile bu teknikler kolay hale getirilmektedir (Eker ve Eker, 2016).

Cumhuriyet döneminde 1934 yıllarında kurulmaya başlamakta olan cam fabrikası, 1937 yıllarında cam üretimine başlayabilmiştir. Daha sonra Paşabahçe'de

cam fabrikası inşa edilmiştir. Bu zamandan sonraki yıllarda Türkiye Şişe ve Cam Fabrikalarının üretim sahaları arttırılıp, ihracat yapılacak duruma gelmiştir. Ayrıyeten özel firmalara ait birçok cam üretim fabrikaları kurulmuştur (Gürsoy ve Gürsoy, 2006). M.S. 11. yüzyılda Almanya’da cam ürünün üfleme yöntemi ile silindirik bir biçimde açılması ve sonrasında bu silindirin kesilmesi ile birlikte düz camın üretimi başlamıştır. Tabaka şeklinde olan bu cam malzemenin üretildiği diğer bir teknik yöntem ise dairesel bir şekilde çevrilerek açılan camların uygun biçimlerde kesilmesiyle kullanılmasıdır. 1688 yıllarında Fransa’da tabaka biçiminde cam üretiminde önemli bir gelişme olmuş ve erimiş haldeki cam malzeme özel olan bir masanın üzerine dökülmesi ile katılaştırma işlemi gerçekleşmiştir.

Bu işlemden sonra ise cam malzemenin yüzeyi zımparalama işlemi ile ayna imalatında kullanılacak kalitede cam ürünler üretilmiştir. Bu dönemlerde farklı yerlerden cam ustaları getirebilmek için Fransa’da uygulanan yasalar yeniden düzenlemiş ve bu cam ustalarına birtakım ayrıcalıklar sağlanmıştır. Bu dönemlerde cam ustalarına üretim teknikleri ile ilgili bilgiler konusunda gizli olmaları ve diğer ülkelere bu bilgileri taşımamaları konusunda ölümle gözdağı verilmiştir. 19.Yüzyılın sonlarına gelindiğinde Alman bilim adamı olan Otto Schott cam malzemenin optik ve termal özellikleri konusunda türlü elementlerin tesiri üzerinde çalışmalar yapmaya başlamışlardır.

Ernst Abbe yapmış olduğu ortak çalışmalar sonucunda cam malzemenin optik ve termal özelliklerinin gelişimi konusunda büyük oranda adımlar atılmıştır. Cam malzemenin büyük boyutlarda üretimine önemli bir derecede katkıları ile bilinen diğer bir isim Friedrich Siemens tarafından yapılmış olan ve cam üretiminde kullanılmaya devam eden tank fırınlarının icadıdır. 19.Yüzyılların sonunda Amerikalı bir mühendis olan Michael Owens ilk olarak üfleme ile cam şişelerinin üretimindeki makineyi geliştirmiştir. Camın katman durumuna getirilmesi yönünde önemli bir buluşta İkinci Dünya Savaşı’ndan sonra İngiltere’de Pilkington Kardeşler tarafından gerçekleştirilmiş olmasıdır. 1959 yılında yapılan uygulamada erimiş haldeki cam malzeme erimiş olan kalay üzerine dökülmüş ve çekilme işleminden önce yayılması sağlanmıştır. Bu buluş sayesinde cam konusunda yapılmakta olan adımların sonu gelmemiştir. Cam konusunda yapılmakta olan çalışmalar sürekli olarak devam ve hız kazanmıştır (Öbelik, 2011).

Günlük yaşantımızda her zaman karşılaşmakta olduğumuz cam malzemeye, Anadolu topraklarında ilk defa Hitit tabletlerinde rast gelinmiştir. Bu tablet çeşitleri cam malzeme karışımları hakkında bize ayrıntılı olarak bilgi vermektedir. Fakat Hititlere ait olan hiçbir cam bulguları ele geşememiştir. Anadolu'daki en eski olan arkeolojik cam malzeme bulgusu M.Ö. 800 yıllarının sonunda görölen bir bardaktır. Renksiz ve ince olan bu cam bardak Gordion'da yer almaktadır. Yani insanların o zamanlarda tanışmakta olduğu cam, günümüze kadar, çoğu yerlerde kullanılmış olan bir madde olarak yaşantıdaki yerini almaktadır (Özdoğan, 2003).

Arkeolojik buluntulara bakıldığında, fayansın ve bazı cam boncukların İ.Ö. 4000'li yıllarda Mısırlılar tarafından imal edildiğini, İ.Ö. 2000'li yılların ortalarında da Fenikeliler cam kapların kendini gösterdiğini belirtmektedir. Son yıllara bakıldığında ise bu konu üzerinde çalışma yapanlar cam malzemenin Mısır'dan önce de Kuzey Mezopotamya'da özellikle Hurri-Mitanni bölgesinde yapıldığını ön plana çıkarmaktadırlar. Geleneksel Türk Camcılığına baktığımızda, cam ustalılığının genel olarak Türk Camcılığına istikamet verdiğini görmekteyiz.

Özellikle 19. Yüzyıllarda Endüstri ihtilali ile başlamakta olan teknoloji alanındaki gelişmeler, bütün alanlarda olduğu gibi cam malzemede de üretim ve tasarım yöntemlerinin, kullanım alanları ile birlikte, araç ve gereç gereksinimlerinin değişiminde önemli rol oynamaktadır. Geçmişten yıllardan günümüze kadar, tarihsel süreçler içerisinde birçok medeniyette karşımıza çıkmakta olan cam, hem sanat hem de endüstriyel bir ürün olarak insanoğlunun çok fazla kullandığı malzeme olarak tarihe geçmektedir (Arslan, 2013).

Önümüzdeki 300 yıl boyunca cam endüstrisi hızlı bir şekilde artış göstermiş ve daha sonrasında azalma göstermiştir. Mezopotamya'da M.Ö. 700 zamanında ve M.Ö. 500 zamanlarında Mısır'da tekrar artış göstermiştir. Gelecek 500 yıl boyunca Mısır, Suriye ve Doğu kıyılarıdaki diğer ölkeler Akdeniz'in cam üretimi için merkez haline gelmiştir (Karasu vd., 2017).

Günümüz teknolojisinde üretilmiş ve halen üretilmeye devam eden çok fazla cam çeşidi bulunmaktadır. Fakat bu türdeki camlardan sadece bazıları, üretim kapasitesi olarak toplam miktarın tamamına yakınına oluşturacak seviyededir. Ticari

olarak da baktığımızda, üretim kapasitesinin %95'ini kapsamakta olan ve en çok bilinen çeşit; soda-kireç-silis camı (SKS) olarak isimlendirilen şişe ve pencere camlarıdır. Günümüz teknolojisinde, gözlük camı, türlü lensler, pencere camı, sofraya araç ve gereçleri, pişirme araç ve gereçleri, ocak üstü, televizyon tüpü, yalıtım maddeleri, aydınlatma araç ve gereçleri, kumaş, kablo ve ayna olarak cam malzeme çoğu alanda kullanılmaya devam etmektedir (Yazar ve Aslan, 2013).

3.2 Cam Hakkında Genel Bilgiler

Cam bir katı yapıdadır. Cam malzeme sözlüklerde değişik bir ifade ile amorf bir madde olarak adlandırılırsa da, elmas gibi parlak, gökkuşağı gibi renkli, örümcek ağı gibi hafif, narin, 2.10^4 kg ağırlığında bir ayna kadar büyük, yumurta kabuğu kadar kırılabilir veya çelik kadar sert olabilmektedir. Doğrusunu ifade etmek gerekirse cam çok farklı türde bir malzemedir. Cam olmadan bir dünyayı düşünüp hayal etmek, uygarlık ve bilimin olmadığı bir dünyayı düşünmek ile aynı şeydir. Çok eskilerden, deneyler için cam neyse, bugünde aynıdır. Cam malzeme araştırmalarda kullanılan kimyasal olan maddelerin birçoğuna karşı dirençli bir yapıya sahiptir.

Saydam ve yarı saydam özelliğinden dolayı, deney yapan kişinin kullandığı tüpün içinde ne olduğunu kolaylıkla görebilmektedir. İşlenmesinin kolay olmasından dolayı, özel bir ihtiyaç için cam tüpü alev yöntemi ile amaca uygun hale getirebilir. Eski zamanlarda laboratuvar malzemeleri kolaylıkla çoğu yerlerde bulunmuyordu. Dolayısıyla mevcut durumdaki laboratuvar camları ısı gerilmelere ve kimyasal olan maddelere çokta dayanıklı durumda olmayan camlardan imal edilmişlerdi. Sonraki dönemlere bakıldığında ise cam, içerisine değişik kimyasal maddeler eklenerek dayanıklı bir duruma gelmiştir. Ancak bu türdeki cam ürünler, hızlı ısınma ve soğumaya maruz kaldığında camın içerisinde oluşan iç gerilmeler sebebiyle kolaylıkla çatlama ve kırılma olabiliyordu.

İlk zamanlarda malzeme üreticileri bu olumsuz durumu biraz da olsa azaltmak için malzemeyi çok ince yapıyorlardı. İnce olan cam, sıcaklık değişiminde kırılabilirliğini yitirebiliyordu. Ancak bu seferde ince olduğundan herhangi bir çarpma anında kırılabiliriyordu. Camın soğutulmuş fakat kristalleştirilemeyen bir yapısı vardır (Öcal vd., 2017).

Cam ısıtıldığı zaman yumuşar ve şekil verilebilmektedir. Sıcak şekillendirme değeri 800-1000 °C civarında yapılabilmektedir. Cam malzemelerin dayanıklı olması kullanılmakta olan silis ve alüminyum oranıyla değişebilmektedir. Cam malzeme, ısıtıldığı zaman viskozitesi kademeli olarak düşmekte ve aksine soğutulduğunda ise yükselmektedir (Gürsoy ve Gürsoy, 2006).

3.2.1 Camın Özellikleri

- Aşınma Direnci
- Esnemeye Karşı Direnç
- Optik Özellikler
- Elektriksel Özellikler
- Kimyasal Özellikler
- Isıl Özellikler
- Sıcaklık Değişimlerine Karşı Direnç
- Kimyasal Etkiye Karşı Direnç
- Fiziksel Özellikler
- Işığın Geçirgenliği, Yansıtması veya Kırması
- Mekanik Özellikler

şeklinde camın bir çok özelliği sıralanabilir (Kantur, 2009).

Cam malzemenin mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Basınç Mukavemeti : $4 \cdot 10^4 - 12 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$
- Çekme Mukavemeti : $2 \cdot 10^3 - 9 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$
- Elastisite Modülü : $6 \cdot 10^4 - 10 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$
- Poisson Oranı : 0,22 ve δ ile gösterilir.

Cam malzemenin fiziksel özellikleri aşağıdaki gibidir;

Birim hacmin ağırlığı (yoğunluk): Binalarda kullanılmakta olan normal cam malzemelerin yoğunluk oranları 2500 ila 2700 kg/m³ şeklindedir.

Sertlik: Camın sertlik derecesi değer olarak 6 ila 7 arasındadır. Bu seviyedeki bir sertlik cam malzemeye iyi bir aşınma dayanımı kazandırmaktadır (Ünal, 2017).

Böylelikle parlak yüzeye sahip cam ürünler saydamlıklarını limitsiz bir ölçüde korumaktadırlar. Normal olan pencere camlarında ise Mohs sertlik değeri biraz daha alçak seviyede olup 5,5 civarlarındadır (Tosun, 2013).

Lineer dilatasyon katsayısı: Camın lineer dilatasyon katsayısı değer olarak 8.7×10^{-6} olarak bilinmektedir. Bu bilinen değer, cam malzemenin birlikte kullanılmakta olduğu pencere doğrama malzemesi ile alakası yönünden önemli olmaktadır.

Isınma ısısının değeri: $795 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ 'dir.

Isı geçirgenliğinin katsayı değeri: $1.16 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ 'dir.

Kırılma indisi değeri: Kristal camda 1.60 olan değer, adi camda 1.52'dir.

Eriye sıcaklığı değeri: $1500-1600 \text{ } ^\circ\text{C}$ arasındadır.

Eriyik haldeki cam sıcaklığı: $1100 \text{ } ^\circ\text{C}$ olarak bilinmektedir.

Yumuşama sıcaklığı değeri: $500-600 \text{ } ^\circ\text{C}$ arasındadır (Ünal, 2017).

Camın dayanım özellikleri; düz camın baskı altında çok dayanıklı olduğu görülmektedir. Bu camın sahip olduğu sıkıştırma mukavemeti değeri 10^9 Pa üzerindedir. Sonuç olarak camı sıkıştırarak kırmak neredeyse imkânsız bir durumdur. Teorik olarak bakıldığında pürüzsüz bir yüzeye sahip yani mikro çatlaklar bulundurmeyen camın çekme mukavemeti de 10^9 Pa üzerindedir. Fakat cam pratikte çekme gerilmelerine dayanamaz. Bu yüzden $2.10^7-2,5.10^7 \text{ Pa}$ arasında bir değerde kırılma göstermektedir. Bu durumun sebebi camın yüzeyinde bulunan mikro çatlakların merkeze doğru ilerlemesi ve sonunda kırılmaya sebep olmasıdır (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

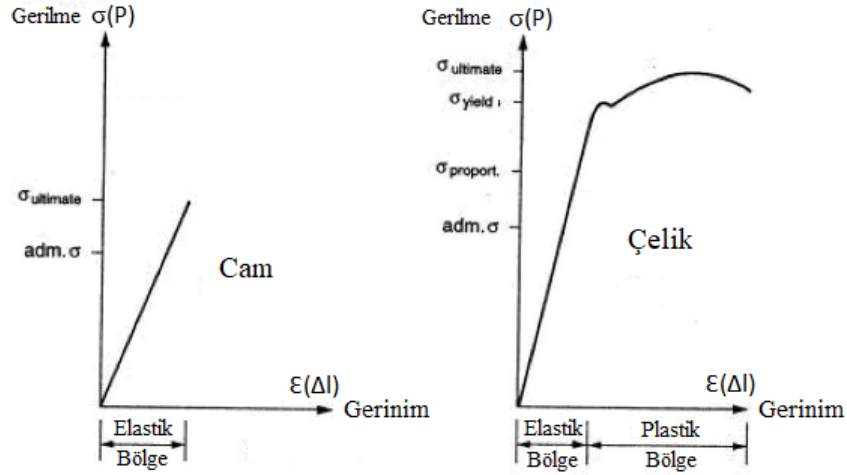
Camın kimyasal özellikleri; Cam malzeme kimyasal olarak bakıldığında çoğu maddelere karşı dayanıklı durumdadır. Sadece hidroflorik asit ve birtakım alkalik çözeltiler (eriyikler) cam malzemeyi etkileyebilmektedir. Hidroflorik asit malzemesi özel olarak cam malzemenin yüzeyinin işlenmesinde ve yüzeylerin matlaştırılma işleminde kullanılmaktadır. İçerisine kalsiyum karbonat ilave edilmemiş olan cam malzemeler su karşısında kararlı halde olamamaktadırlar. Bu türdeki camlara su camı tanımı yapılmaktadır. Normal olan pencere camlarına ise su

ile teması gerçekleşebilecek her türdeki camların su karşısında dengeli halde olabilmeleri için bileşimlerine kirecin ilavesi zorunlu olmaktadır (Tosun, 2013).

Cam malzeme özellikle mekanik olarak güçlü bir malzemedir. Silikon oksidin çoğunluğu camın sertlik ve dayanımı için belirleyici bir durumdur. Ayrıyeten cam malzemenin kırılma dayanımı da bu çoğunlukla belirlenmektedir. Cam malzeme plastik deformasyona maruz bırakılmamaktadır. Şayet plastik deformasyon sınırı çok az da olsa aşılsa cam kırılmaktadır. Metal malzemelere göre kıyaslandığında akmaya işaret eden bir uyarı mekanizması bulunmamaktadır. Bu kıyaslama resimde gösterilmiştir (Şekil 3.2). Cam malzeme yüzeyinde hava kabarcığı ve katı kalıntılar olursa malzemede kırılmaya neden olabilmektedir (Reckens, 1998).

Cam malzemenin mekanik özellikler açısından bakıldığında oldukça güçlü bir görünümü olmasına rağmen, cam malzemede kırılmanın teorik değerlere ulaşmadan gerçekleştiği belirtilmektedir. Teorik olarak genellikle gerilmenin direnci için kabul edilen enerji, kimyasal bağları kırmaya gerekli enerji olduğu durumda iken, işlenen cam malzemede bu değerler beklenenden daha düşük olmaktadır. Cam malzeme çok küçük kusurlarla ve uygulanan herhangi bir darbe ile çatlatılırsa, atomlar arası sınırların kırılmasına sebep olduğundan kırılma meydana gelmektedir. (Leitch, 2005).

Cam malzemenin ölçülebilen mukavemeti 27.10^9 N/m^2 yani 27.10^9 Pa olarak tahmin edilen orijinal dayanımının 100 ila 1000 kat altında bulunmaktadır. Cam malzeme bileşiminin kırılma dayanımına baktığımızda çok az bir etkisinin olduğu bilinmektedir. Cam malzeme yüzeyindeki daimi olan hata farkından dolayı çatlaklar başlayarak kırılmaların meydana gelmesi ölçülen mukavemet değerini etkilemektedir. Bu yüzden kabul edilebilir olan çekme mukavemeti değeri 13.10^6 N/m^2 kabul edilmektedir. Tasarımlarda ise bu değer genel olarak $6,5.10^6 \text{ N/m}^2$ şeklindedir. Bunlarla birlikte tasarımlarda iyi tavlanmış bir malzeme 20.10^6 N/m^2 'ye ve sertleştirilmiş bir malzeme ise 130.10^6 N/m^2 'ye kadar çekme mukavemetlerinde artırma yapılabilir. Cam malzemenin mukavemetini arttırmak için türlü fiziksel ve kimyasal tedbirler geliştirilmeye çalışılmıştır. Özel yöntemlerle güçlendirilmiş olan cam malzemeler 67.10^6 N/m^2 çekme mukavemetine sahiptir ve mukavemet/ağırlık oranları SS 410 türündeki çelikten bile daha yüksek değerdedir (Özgül, 2009).



Şekil 3.2. Cam ve çeliğin gerilme-gerinim eğrilerinin karşılaştırılması (Özgül, 2009).

3.3 Camı Oluşturan Ana Maddeler

Adi cam malzemenin bileşimine girmekte olan üç ayrı grup madde vardır. Bu maddeler cam malzeme haline gelebilen eriticiler, oksitler ve stabilizatörler olarak bilinen maddelerdir. Cam bileşimine girmekte olan bu maddelere kum, soda ve kireç tanımı da yapılabilir. Adi olan camın bileşimine girmekte olan bu maddelerin dışında olan cam malzemeye önemli oranda özellik kazandıran ve üretim alanında bazı yararlar sağlamakta olan yardımcı bileşenler bulunmaktadır (Ünal, 2017).

3.3.1 Camlaşıcı Olan Oksitler

Camlaşıcı özellik gösteren bu maddeler genel olarak ağ oluşturabilen birtakım oksitlerdir. Kuvars kumları bu maddelerin başında gelmektedir. Ağ özelliği oluşturabilen bu oksitlerin önemli olanları şunlardır; SiO_2 (Silisyum dioksit), B_2O_3 (Bor oksit) ve P_2O_5 (Fosfor)'dir (Ünal, 2017).

3.3.2 Eritici Oksitler

Ağ özelliği oluşturabilen ve cam malzeme haline gelen bu oksitlerin erimesini kolay hale getirebilmek için cam bileşimine katılan maddelere eriticiler denir. Bunlar camlaşma özelliği olan maddelerin sıcaklıklarını düşürerek onların erimelerini kolaylaştırmaktadır. Özel olarak $1713\text{ }^\circ\text{C}$ olan silis, erimde derecesi $1500\text{ }^\circ\text{C}$ civarlarına düşmektedir. Eritici oksitler ağ içerlerine girerek yapıyı değiştirdikleri

için eritici olan bu oksitlere ‘‘Modifikatör’’ denilmektedir. Eriticiler sırası ile Na₂O, K₂O, Li₂O’dur (Ünal, 2017).

3.3.3 Sabitleştirici Olan Oksitler

Stabilizatörler (Sabitleştiriciler), cam malzemenin kimyasal mukavemeti, kırılma indisi, dielektrik özelliği üzerinde tesir yapmaktadırlar. Formülünde sabitleştirici ilave edilmemiş olan bir cam malzeme, suyun karşısında istikrarlı özellik göstermemektedir. Bu cam tipine su camı denilmektedir. Stabilizatör olarak da kullanılmakta olan bu maddelerin başlıca olanları; ZnO, MgO, PbO, BaO ve CaO oksitleridir.

CaO oksit kireç taşının (CaCO₃), MgO ise dolamitin (MgCO₃) camın formülüne ilave edilmesi ile birlikte sağlanmış olmaktadır. İşte bu iki maddenin ısıtılması ile birlikte içerisindeki CO₂ çıkar ve daha sonra geriye kalanlar oksitlerdir (Ünal, 2017).

Örneğin; $CaCO_3 = CaO + CO_2$

3.3.4 Yardımcı Bileşen Olan Maddeler

Yardımcı bileşenler genel olarak adi olan camın formülüne kesinlikle giremezler, fakat değişik cam türlerinde farklı etkiler sağlamak üzere kullanılmakta olan oksitler olarak bilinmektedir. Örneğin;

- **MnO₂ (Mangan Dioksit):** Cam malzemenin rengini açmaktadır,
- **As₂O₃ (Arsenik):** Renk verme ve saflaştırıcı özelliği vardır,
- **Na₂SO₄ (Sülfür):** Redükleyici olan özelliği vardır,
- **KNO₃ (Potasyum nitrat):** Cam saydamlığını gidermektedir (Ünal, 2017).

3.4 Cam Oluşturan Oksitler

Cam malzeme fiziksel açıdan bakıldığında bir katı malzeme olup belirli olan bir erime noktası bulunmayan, aşırı derecede soğutulmuş olan bir sıvıdır.

Kristalleşmeye engel olacak kadar yüksek bir viskoziteye sahiptir. Kimyasal açıdan bakıldığında kumun, alkali ve toprak alkali bileşikleri ile diğer cam malzeme yapıcı maddelerin eritilmesi ile oluşmakta olan uçucu özellik göstermeyen inorganik oksitlerinin meydana getirdiği ve genel olarak alkali ve toprak alkali silikatların oluşumundan olan karmaşık bir üründür (Megep, 2008).

3.4.1 Camın İskeletini Oluşturan Oksitler

Cam malzemeyi oluşturan silisyum dioksit ve silistir. Cam malzeme sıvı yapısına sahip ama katı gibi davranan bir madde konumundadır. Bu oksitler; SiO_2 (Silisyum dioksit veya silika), B_2O_3 (Bor oksit veya diboran trioksit), GeO_2 (Germanyum oksit), P_2O_5 (Fosfor pentaoksit), As_2O_3 (Arsenik trioksit) ve Sb_2O_5 (Antimuan pentaoksit)'tir (Megep, 2008).

3.4.2 Cam Malzeme Oluşumunu Kolaylaştıran Oksitler

Sc_2O_3 (Skandiyum oksit), La_2O_3 (Lantanyum oksit), Y_2O_3 (Yitriyum oksit), SnO_2 (Kalay oksit), Ga_2O_3 (Galyum oksit), PbO_2 (Kurşun dioksit), Li_2O (Lityum oksit), MgO (Magnezyum oksit veya magnezya), ZnO (Çinko oksit), BaO (Baryum oksit), Na_2O (Sodyum oksit), K_2O (Potasyum oksit), CdO (Kadmiyum oksit), SrO (Stronsiyum oksit), CaO (Kalsiyum oksit veya kireç) ve Rb_2O (Rubidyum oksit) gibi oksitler cam malzeme oluşumunu kolaylaştırır. Silise soda maddesinin (Na_2O) eklenmesi ile iki maddenin aralarında kimyasal bir reaksiyon oluşturmaya sebep olmaktadır. Sodanın ve silisin karışımı, silis maddesinin ergime noktasından çok daha düşük seviyedeki sıcaklıklarda reaksiyon vermektedir.

Öte yandan soda; daha kolay bir şekilde eridiği için silisin daha düşük sıcaklıklarda akıcı bir hal almasını sağlar. Soda ve silis camındaki sodanın miktarının artırılması ile cam malzemenin su tarafından kimyasal olarak da tesiri artmaktadır. Bu sebep ile kolay ergitme yapılan ve biçimlendirilebilen bir cam üretimi için, camın karışımında bazı eklemeler ile düzeltmeler yapmak son derece önemlidir. Yaygın olarak kullanılmakta olan ve bilinen bir diğer ağ yapıcı olan madde kireçtir. Kireç (CaO) eklenmesi ile camın kimyasal etkilere dayanıklılığı artmaktadır (Megep, 2008).

Cam malzeme yapımında silisyum dioksit (SiO_2) kullanılmasının sebeplerini sıralayacak olursak şöyledir;

- Cam malzemenin ana ham maddesidir.
- Cam malzemenin viskozitesini artırmaktadır.
- Cam malzemenin mekanik mukavemetini artırmaktadır.
- Cam malzemenin sıcaktan dolayı genleşmesini azaltmaktadır.
- Camın asitlere karşı direncini artırmaktadır.
- Cam malzemenin çalışma sıcaklığını artırmaktadır.
- Soğumuş haldeki cama camsı özelliğini vermektedir.
- Cam malzemenin ani ısı farklarına karşı dayanımını artırmaktadır.
- Ergitilen camın akışkanlığını azaltmaktadır.

Cam malzeme yapımında alüminyum oksit (Al_2O_3) kullanılmasının sebeplerini sıralayacak olursak şöyledir;

- Cam malzemenin sağlamlığını artırmaktadır.
- Cam malzemenin çalışma aralığını genişletmektedir.
- Fırının içerisinde akışkanlığı artırmaktadır.
- Karışımlarda doğru yoldan kullanıldığında viskoziteyi artırmaktadır.
- Yapıda kristallenmeyi önleme özelliğine sahiptir.
- Cam malzemenin kimyasal dayanımını artırmaktadır.
- Su etkilerine karşı cam malzemeye dayanım vermektedir.
- SiO_2 ve CaO yerine kullanılırsa viskozite artmaktadır (Megep, 2013).

3.5 Cam Sanayisinin Ülkemizde Gelişimi

Ülkemizdeki cam sanayisinin temelleri cumhuriyet dönemi ile birlikte, ulusal düzenlemeyi sağlamak, ülkemizin ihtiyaçlarını kendi içerisindeki üretimiyle gerçekleştirmek ve dış pazara para akınının önüne geçmek amacı ile 1934 yılında Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları ismiyle cam sanayisinin kurulması ile atılmıştır. Ülkemizin o zamanlarda cam malzeme tüketimi yılda $35 \cdot 10^5$ kg civarında iken fabrikanın üretiminin kapasitesi yıllık $3 \cdot 10^6$ kg olarak beklenmektedir. 1948 yılına kadar üretimler el ile yapılmaktadır. Ürünler bardak ve şişe ile sınırlı olmaktadır.

Dünyaya baktığımızda o zamanki yıllarda cam üretiminde önemli oranda farklılıklar görülmektedir.

Hızlı bir şekilde mekanikleşme gösteren cam endüstrisi, çok daha hızlı bir seviyede olup ekonomik üretim yapmaya başlamaktadır. Ülkemizde mekanikleşme konusunda bazı hamleler yapıldıysa da ilk olarak makine alımı, 1954 yılında gerçekleşmektedir. Yeni alınan dört makine ile kapasite miktarı yıllık olarak 5.10^6 kilogramı bulmaktadır. Cam sanayisindeki değişiklikler yalnızca üretim ile sınırlı kalmamaktadır; üretimin şekli konusunda da farklılıklar görülmektedir. Dünyada düz cam üretimi, Fourcoul't yönteminden 1929 yıllarında Pittsburg tekniğine ve 1953 yılında ise Pilkington tekniğine dönüşmektedir.

Ülkede ise düz cam üretimi II. Dünya Savaşı sonunda dahi kurulamamıştır. Ülkenin ihtiyaçları ithalat ile karşılanmaktadır. Diğer yandan, endüstriyel hale gelmiş olan ülkelerde cam üreticileri yoğun bir isteğe rağmen lisans vermeyi kabul etmemektedirler. Nihayet 1961 yıllarında o zamanki SSCB ile Fourcoul't teknolojisi elde edilir ve düz cam üretimi başlar. Daha sonra ise Pittsburg tekniği, rekabetçi bir üretici tarafından, Belçika ülkesinden elde edilir ve yine aynı üretici tarafından Mersin ilinde açılan fabrika da üretime başlar. Şişecam fabrikası ise bu tekniği İngilizlerden almaktadır, buradaki amaç daha sonra tekrar İngilizlerden Pilkington yöntemini sağlamaktır.

Gelişmekte olan olaylar sonucunda Mersin ilindeki fabrika Şişecam tarafından satın alınmaktadır. Düz cam üretimine sonunda başlamakta olan cam sanayisi, Şişecam ambalaj taleplerini karşılamak için 1968 yıllarında İstanbul Topkapı'da yeni bir Şişecam fabrikası açmıştır. 1969 yılında da kurşun kristal üretimi, 1971 yılında cam elyaf üretimi, 1980 zamanında el yapımı olan kristal üretimi ile Şişecam fabrikası cam üretimini şişeden, mutfak eşyalarına, düz camdan teknik camlara kadar genişletmektedir (Özdoğan, 2003).

Yaklaşık olarak 80 yıl olan bir zaman dilimine sahip olan Türkiye Cam Sanayisi bu zaman diliminde büyümeye ve gelişmeye devam etmektedir. 1960'lı yıllarda ihracat alanındaki büyümeyle yurt dışında önemli bir marka haline gelmeye başlamıştır. Daha önce yani 1960 yıllardan önce tek bir tesiste cam eşya ve cam

ambalaj üretimi yapılmıştır. 1960-1980 yıllarında ülkenin ana cam ürünü ihtiyacını karşılamak için faaliyetlere yönelme olmuştur. 1970-1980'li yıllarda teknolojik gelişmeler başlamış, Ar-Ge'nin hayata geçmesi ile dünya pazarına hızlı bir çıkış gerçekleşmiştir. 1990'lı yıllardan sonra Türkiye Cam Sanayi bölgesel liderliğe adım atmıştır ve genişlemeye devam etmiştir.

Düz cam malzeme, cam ambalaj, cam eşyası, cam işleme, cam elyaf vb. ürünler ile cam sektörü ileri teknolojiler ile faaliyetlerine devam etmektedir. Cam malzeme üretiminde en önemli paya sahip maddeler; kum, dolomit, soda ve kuartz maddeleridir. Türkiye bu doğal kaynakları açısından zengin bir yere sahiptir. %98 oranında hammadde ülkemizde bulunmaktadır. Türkiye'de cam üretim kapasitesi yaklaşık olarak 37.10^8 kg/yıl olarak bilinmektedir. Üretim miktarları olarak %50 düz cam malzemesi, %32 cam ambalaj ürünü, %16 ev eşyaları ve %2 cam elyaf şeklinde üretim yapılmaktadır (Tobb, 2012).

3.6 Dünyada Cam Sanayi

Dünyadaki camın sektörüne bakacak olursak, global olan ekonomiye göre kıyaslandığında yılda ortalama %2 ve %4 aralığında bir büyüme göstermiştir. Uluslararası rekabette cam fırınlarının kapasiteleri önem arz etmektedir. Diğer yandan bazı sektörlerin gelişmemesi yani entegre ve büyük kapasiteli alanlar için sermaye ihtiyacı gerekmektedir. Yatırımlar daha çok Orta ve Doğu Avrupa ve Güneydoğu Asya ülkelerinde artış göstermektedir. Çin ve Rusya ülkelerinde eski zamanlardaki teknolojilere sahip olan kuruluşlar yerlerini son teknolojilere ve yeni kurumlara bırakmıştır. Dünyanın pazarlarında yoğun olan rekabet sebebi ile üretici firmalar, bu yarış ortamını hareketlendirerek bu pazarı korumak ve geliştirmek için verimliliği artırmak, maliyeti düşürmek gibi farklılıklar yapılmaya çalışılmaktadır. İleriye yönelik teknoloji olan düz ekran camları aşırı bir şekilde büyüme göstermektedir. Çoğunluk olarak yatırım gerçekleştirilen ülkeler; Çin ve Tayvan ülkeleridir (Tobb, 2012).

3.7 Camların Yapısı

Cam malzemeler yüksek oranlarda viskozitelere sahip olan sıvılardır. Yüksek derecelerde soğutulmaları sonucunda belirli yapılar oluşmaktadır. İşte bu sebeple oda sıcaklığında katı halde olduğundan herhangi bir kristal yapıya sahip olamamaktadır, çünkü bu yapılar amorf olarak tanımlanmaktadır. Amerikan Deneysel Malzeme Standartlarında cam malzemenin tanımı şöyle yapılabilir: Cam malzemeler, inorganik olan malzemelerin eritilerek, ergimiş durumdan soğumaya bırakıldığında hiçbir mertebede kristalleşme göstermeyerek katılaşmakta olan dayanıklı malzemeler olarak bilinmektedir. Camlar sıvı halde iken soğumaya başlamaktadır.

Herhangi bir süreksizlik göstermemesi durumunda, diğer bir ifade ile kristalleşme ve faz ayrışmasına uğramaması halinde cam malzemelerin fiziksel özelliklerinde ani olarak bir değişim olmadığı anlamı çıkmaktadır. Yüksek bir soğuma derecesi esnasında, atomların yayılması için lazım olan zamanın olmamasından dolayı sıvı atomlarının belirli boyutlarda kristal yapı oluşturmalarına zaman ayıramadan donmuş bir şekilde amorf duruma geçmektedir. Yani süreksizliğin yerine daha çok fiziksel özelliklerinde düşme görülmektedir. Yalnız yüksek soğuma ile gerçekleşebilen kristalleşme göstermeme durumu sadece cam malzemelere ait olan bir durum değildir. Metal malzemeler bile sıvı durumdan, kristalleşmelerine fırsat verilmeden hızlı soğutulduğundan amorf bir yapı kazanmaktadırlar.

Sonuç olarak metalik camın oluşması gerçekleşmektedir. Yalnız metal malzemelerin amorf yapıya geçmesi için gerekli olan soğuma hızının, oksit cam malzemeleri için gerekli olan hızın ortalama olarak 10^6 katı şeklindedir. Bundan dolayı Amerikan standart açıklamasının eksik bir tanım olduğu ifade edilmelidir. Soğuma yöntemi ile viskozitenin sürekli bir şekilde artması durumunda cam malzemenin düşen sıcaklıkla beraber akışkan özelliğe daha fazla dayanım göstermektedir. Polimer olan malzemelere benzer olarak da cam malzemelerin viskoziteleri düşen sıcaklıkla beraber artış göstermektedir. Dolayısıyla camların bildiğimiz üzere akışkanlıklara karşı direnci başlamaktadır. Yüksek sıcaklıklarda artan viskozite değerlerine sahip olmalarının sebebi yapılarının polimer olan malzemelere emsal olarak zincir biçiminde olan çokgenlerden oluşmaktadır.

Zincir çokgenlerinin birbirlerinden ayrılmaları aşırı zor olduğundan cam malzemeler yüksek derecelerde bile viskoziteye sahip olmaktadır. İşte bu cam malzemelerin sahip oldukları uzun zincir şeklindeki yapıları yüksek derecelerde viskoelastik bir davranış göstermelerine sebep olmaktadır. Zira sıcaklığın artması ile birlikte zincir biçimindeki yapıların hareket kabiliyetlerinde yükselme görülmektedir (Özdoğan, 2003).

Cam üreticileri kendilerine uygun olan özelliklerdeki camları elde etmek için çeşitli malzemeler kullanmaktadırlar. Örnek olarak eski Mısır'da soda kullanıldığı bilinmektedir. Akdeniz ülkeleri geleneksel camcılığın ortaya çıkardığı ürünlere çeşitli özellikler kazandırmıştır. Günümüzde cam üretiminde genel olarak normal olan camlar için; %72 oranında silis, %15 oranında soda ve %13 oranında kalker kullanılmaktadır. Kristal olan camlar için; %48 oranında silis, %24 oranında potas + soda ve %28 oranında kurşun oksit katılmaktadır.

Çoğu cam üreticisi kendi özel isteklerine göre bu karışımları değişik biçimlerde kullanmaktadır. Camın içerisine katılanları değiştirerek ilginç çözümlere rastlanmaktadır. Örnek olarak 18.yy'da Josef Strass aşırı miktarda kurşun kullanarak değişik süs takıları yapmışlardır. Ayrıca cama renk vermek için çeşitli karışımlar kullanılmaktadır. Bu renkler; yeşil, turkuaz, mavi, sarı, mor, eflatun, pembe, kırmızı ve beyazdır (Küçükerman, 1985).

Cam içerisindeki yapıları oluşturan maddeleri açıklayacak olursak; soda, kum, kalker, feldspat, dolomit maddeleridir. Bunların yanında diğer yardımcı maddeler ise şunlardır; sodyum sülfat, çinko selenit, seryum sülfat, kobalt oksit ve cam kırığıdır. Sodyum sülfat; ergime hızı oluşumuna destek olmaktadır.

Seryum sülfat; renk etkisinin kimyasal evresinde rol oynamaktadır ve demir iyonlarının istikrarını sağlamaktadır. Renk olarak mavi ve mor rengini vermektedir. Çinko selenit ve kobalt oksit maddeleri; renk etkisinde gizleme görevi yapmaktadır. Selen pembe renk vermektedir. Sonuç olarak bu maddeler renk etkisinde önemli bir rol oynamaktadır (Megep, 2008).

3.8 Türkiye’de Cam Sektörü ve Camın Kullanım Alanları

Ergitme teknolojisi ile üretim yapılan cam sektörüne baktığımızda, enerjinin hızlı bir şekilde üretiminin yapıldığı görülmektedir. Cam, elektronik ve başka sektörlere hız veren temel sektörlerdendir. Kesintisiz olarak devamlı bir şekilde üretim yapma zorunluluğunda olan bu sektörde, üst seviyenin %75 oranında olması, kapasite olarak kullanım oranının da %90 oranında olduğu görülmektedir. Ülkemizde cam malzeme ile ilgili sektörde etkinlik göstermekte olan, cam malzeme üretimi ve işlemesi yapan 200 üzerinde işletme bulunmaktadır. Ülkemizde cam, cam mamulleri ve cam hammaddeleri üretimlerinin takribi %85 seviyesi sektörün büyük üretim fabrikalarından olan Türkiye Şişe ve Cam Sanayi gerçekleştirmiş bulunmaktadır.

Ülkemizde cam alanında; genel olarak, yeni teknolojiler kullanılmaktadır. Aynı zamanda eski teknolojileri kullanan kuruluşlarda mevcuttur. Yerli hammaddelerin kullanım oranı yaklaşık olarak %98 seviyelerindedir. Ülkemizde cam malzeme üretiminin miktarı 10^9 kg civarında olup, ürünlerin türlerine göre takribi olarak dağılımı şöyledir; %42 düz camlar, %26 cam ambalaj ürünleri, %16 cam ev eşyaları, %5 emniyet camları, %4 buzlu cam ve diğer türlerde %7 oranındadır.

Cam sanayisi takribi olarak 300.000.000 ABD doları ihracat yapılmakta olup, bu değer, yeni yatırımlar ve pazarlama çalışmaları ile birlikte 500.000.000 ABD doları miktarlarına yükselmesi beklenmektedir. Ülkemiz cam sektöründeki kapasitesi ile birlikte dünyada cam üretiminin %1,3 seviyeleri, Avrupa Birliğindeki ülkelerde ise seviye olarak %4’ünü gerçekleştirmektedir. Cam sanayii, beyaz eşya, inşaat, mobilya, otomotiv, meşrubat, denizcilik, gıda, ecza, elektrik sektörlerine ürün temini sunmaktadır (Öbelik, 2011).

Cam sanayisine bakacak olursak eğer, çoğu sektöre girdi vermekte olan önemli bir sektör haline gelmiştir. Bunlar; otomotiv, inşaat, elektrik-elektronik, meşrubat, beyaz eşya, eczacılık vb. sektörlerdir. Cam malzeme üretiminde çok kullanılan önemli girdilerden bazıları şunlardır; kum, soda, kuvarz, dolomit vb. gibi maddelerdir. Sodanın üretimine baktığımızda dünyada Türkiye’nin payı %1,7 olarak bilinmektedir. Ülkemizde cam malzeme ham maddeleri yeteri kadar bulunmaktadır.

Fakat uygun özelliklere sahip ham maddenin rezervleri de zamanla azalmaktadır (Megep, 2008).

Türkiye cam sanayisinin ihracatına baktığımızda 2012 yılında 956 milyon ABD \$ civarında olup, ihracatın ürün çeşitliliği artırılmış ve değeri yükseltilmiş ürünlerin payı artmaya devam etmektedir. Cam sektörüne baktığımızda, günümüz itibari ile ulaştığımız nokta yaklaşık olarak %6,3'lük bir paya sahiptir. Türkiye'de cam sektörü yurt dışında da yatırımlarını gerçekleştirmekte ve bölgesel bir güç haline gelmeye devam etmektedir. 2008 yılına baktığımızda 1 milyar ABD \$ üzerinde ihracatını gerçekleştiren bu cam sektörü 2008 yılının son zamanlarında derinleşmekte olan ve 2009 yılında kriz sebebiyle %17,5 ile azalma göstermiştir.

2010 yılından sonra ekonomideki düzelme ile beraber tekrar toparlanan cam sektörü 2010 yılında %7,6, 2011 yılında %8,3 artış göstermiştir. 2010 ve 2011 yıllarında iyi giden sektör 2012 yılında bazı sebeplerden dolayı ihracatta azalma meydana gelmiştir. Düz cam, yıllara baktığımızda miktar olarak en fazla ihracatın yapıldığı cam grubu olmuştur. 2009'da %45, 2010'da %50, 2011'de %48 ve 2012'de %39 oranında ihracat sadece düz camdan sağlanmıştır (Tobb, 2012).

3.9 Cam Çeşitleri

Silikat cam ürünlerinin çok farklı çeşitleri bulunmaktadır. Bu cam ürünlerinin bileşiminde az veya çok miktarlarda SiO_2 bulunmaktadır. İşte bu sebepten dolayı bu cam tipine silikat camı denmektedir. Bu camları kimyasal bileşimlerine göre sınıflandırabiliriz (Ünal, 2017).

3.9.1 Soda Kalsik Camları

Dünya'da üretilmekte olan cam ürünlerinin yaklaşık olarak %90'ı sodakalsik camlarıdır. Ucuz ve kolay eritilebilir olmaları iyi bir özelliktir. Lakin ısı gerilmelere, dayanım ve kimyasal istikrar gibi durumlar dışında çoğu yerlerde kullanılmaktadırlar. Bildiğimiz elektrik ampülü, pencere camları, floresan ampulleri gibi birçok malzemelerin üretimlerinde kullanılmaktadır. Yapılarında bulunan %5 seviyesinde CaO bulunmaktadır (Ünal, 2017).

3.9.2 Kurşun Camları

Kristal camlar olarak da bilinmektedir. Soda kalsik camlarında kireç yerine PbO katıldığında kurşun camı elde edilmesi gerçekleşmiş olmaktadır. Yapılarında genelde %80 seviyelerinde fakat birtakım durumlarda daha fazla olmak üzere kurşun oksit bulundurmaktadır. Kurşun oksit, cam malzemenin erime noktasını düşürmektedir. Yumuşama noktasını baktığımızda ise CaO bulduran camların altına düşürmektedir.

Ayrıyeten cam malzemeye kolaylıkla işlenebilme özelliği, ışığı yansıtma ve yayma gibi özellikler kazandırmaktadır. Kurşun oksit seviyesinin %80 oranını aştığı cam çeşidi γ ve χ ışınlarından korunma amacı ile kullanılmaktadır. Nispeten fiyatlı olan bu cam türü yerine genelde baryum oksitli cam malzemeler kullanılmaktadır (Ünal, 2017).

3.9.3 Borosilikat Camları

Bu camların yumuşama noktaları yüksektir. Bundan dolayı, ısıl gerilmelere karşı büyük bir dayanım özelliği gösteren büyük bir genişleme katsayısı, asit ve sulara karşı iyi bir derecede dayanım göstermektedir ve daha elverişli elektriksel özellikleri bulunmaktadır. İşte bu sebeplerden ötürü teknik camlar olarak kullanılmaktadır. Mutfak eşyaları, büyük boyutta astronomi alanında kullanılan aynalar üretilmektedir (Ünal, 2017).

3.9.4 Alüminosilikat Camları

%20 oranından fazla miktarda alümin, az miktarlarda bor maddesi ve biraz kireç ile daha az miktarda alkali madde içermektedirler. Fakat bu madde bulunamadığı zaman cam malzemenin işlenmesi ve eritilmesi zorlaşmaktadır. Burada önemli olan camın yumuşama noktasının yüksek olması ve dilatasyon katsayısının küçük seviyelerde olması gerekmektedir. Kullanım alanlarına baktığımızda ise yanıcı tüpler, termometre ve alev ile direkt temas edebilecek her çeşitte parçaların yapımında kullanılmaktadır (Ünal, 2017).

3.9.5 Silis Camları

%96 seviyesinde SiO₂ içermekte olan bu cam türü, üfleme ve presleme metotları ile şekillendirme bu türdeki cam malzemelere uygulanmaktadır. Dilatasyon katsayısının oranı düşüktür. Bu cam çeşidi, fazla saydam özelliği sebebiyle ultraviyole ışınları geçirmektedirler. İşte bu sebeple ultraviyole lambalar ile mikropların etkisiz hale getirildiği lambaların yapımlarında kullanılmaktadırlar. Aşırı derecede saf olan kuvars kumlarının eritici maddeye gerek kalmadan eritilmesi ile %99 seviyelerinde SiO₂ elde edilmektedir. Böyle bir cam malzemenin üretilmesi ve şekillendirme işlemi 1750 °C seviyelerindeki bir sıcaklıkta olmaktadır.

İşte bu sebepten dolayı üretimi yapılacak olan malzemeler boyutları ve şekilleri bakımından sınırlı olmak durumundadır. Burada genleşme katsayısı oranının küçük olması, yumuşama noktasının ise aşırı fazla olması ve ultraviyole ışınlarını iyi bir şekilde geçirme gibi birçok olumlu özellikleri bulunmaktadır. Elektriği geçirmeme özelliği açısından önemlidir. Fakat ekonomik açıdan bakıldığında fiyatının yüksek olması sebebiyle elektroteknikteki uygulamalar sınırlı durumdadır. Isıl gerilmelere karşı mukavemet açısından dayanımı yüksek seviyelerde olan bir cam çeşididir.

Uygulama açısından bakıldığında cam çeşitleri aşağıdaki gibidir;

- Renkli Camlar
- Buzlu Camlar
- Pencere Camı
- Emniyet Camları
- Cam elyaflar
- Telli Cam
- Optik Cam
- Silis Camları (Ünal, 2017).

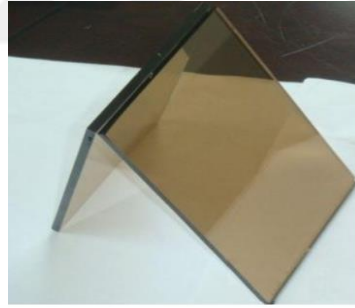
3.9.6 Bronz Reflekte Camı

Kendine has bir görünümü olan bronz reflekte cam çeşitleri, mavi, gümüş, bronz ve füme gibi farklı renklerde üretimi yapılmaktadır. Güneş ışınlarını süzen

özel bir kaplama ile dış faktörlerin içeri girmesini engelleyen özelliği ile olabildiğince etkili bir görüntüye sahiptir. Kendine has görünümünün yanında, başarılı durumda olan bronz reflekte camları, görsellik olarak estetik bir durumdadır (Şekil 3.3).

Dışarı taraftan içeriğin görünmesini engelleyici özelliği ile çoğu yerlerde perdesiz kullanılmakta olan bu cam çeşidi, büyük çaplı iş merkezlerinde ve ofislerde en çok tercih edilmekte olan cam çeşitleri arasındadır. Doğal yapısı ile harika bir yapıya sahip olan cam teknolojisi, özel bir kaplama ve desen çalışmaları ile hayatımızda önemli bir yere sahiptir. Bu renkli cam çeşitleri, vazgeçilemez özelliklere sahiptirler.

Binalarda özel tasarımlara gerek duymadan, bronz reflekte camı rahat bir şekilde kullanılmaktadır. Cam çeşitlerinde estetik ve sağlamlık önemli bir yer tutmaktadır. Bu cam perde görevi yapan özel bir kaplama ile kaplıdır. Sağlam ve dış darbelerle karşı dayanıklı bir camdır (<http://www.asilcam.net/bronz-reflekte-cam/>).



Şekil 3.3. Bronz reflekte cam (<http://www.asilcam.net/bronz-reflekte-cam/>).

Güneş ışınlarını süzme özelliği ile beraber gün aydınlığından yararlanmayı sağlayan bronz reflekte camları ihtişamlı ve dayanıklı ürünlerdir. Bu camlar; balkon camlarında, banyo duş kabinlerinde, ofis girişlerinde ve evlerde kullanılmakta olan bronz reflekte camları hayatımızda önemli bir yere sahiptir. Renkli bir yaşam tarzı için bu cam çeşitleri kullanılmaktadır (<http://www.asilcam.net/bronz-reflekte-cam/>).

3.10 Cam Yapı Malzemeleri ve Kullanım Alanları

Cam ürünleri, çeşitli yapılarda geniş kullanım alanlarına sahip olan yapı malzemeleridir. Kullanılmakta olan cam malzemelerin çeşitleri, kullanım şekilleri, biçimleri ve özellikleri vardır. Bunları açıklayacak olursak şöyledir; Düz cam ürünler, levha camlar, cam duvar ve döşeme blokları, cam çatılardaki örtü malzemesi, U profil şeklindeki camlar, cam mozaikler, cam köpüğü ve cam lifler olarak adlandırılmaktadır (Ünal, 2017).

3.10.1 Düz Camlar

Düz cam ifadesi çekme yöntemi ile üretilmekte olan ve ticari ismi pencere camı olan, ışın geçirgenliği dolayısı ile her iki yüzeyindeki görüş kapasitesi çok yüksek bir camdır. Düz camlar, çoğu binanın pencerelerinde, tabakalı güvenlik camlarının üretiminde ve ön gerilimli olan temperlenmiş camların elde edilmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Düz camların sınıflandırılması kalınlık ve ağırlıklarına göre yapılmaktadır. Düz camların %75'lik bölümü pencere camı olarak adlandırılmaktadır (Megep, 2011).

3.10.2 Levha Şeklindeki Camlar

Birçok binada kullanılmakta olan cam malzemelerin birçoğu levha şeklindeki camlardır. Bu tipteki camlar, direkt olarak levha olarak da üretilmektedir. Diğer işlemler kullanılarak da hava tabakalı veya normal çeşitleri olabilmektedir (Ünal, 2017).

3.10.2.1 Pencere Camı Çeşitleri

Çoğu binada kullanılan yapı malzemeleri olarak kullanılan camların büyük bir çoğunluğunu pencere cam ürünleri oluşturmaktadır. İç ortamla dış ortamın arasındaki görsel bağlantıyı sağlamaktadır. Günümüz itibariyle ısı kayıplarını önleyebilmenin en etkili yöntemi, cam malzemenin yüzeydeki ısı kayıplarını minimuma indirmedir. Bununla beraber ses yalıtımı durumunu da sağlamak gerekmektedir. Bu sebepten dolayı farklı gereksinimleri karşılayabilmek için çeşitli camlar üretilmiştir (Ünal, 2017).

3.10.2.1.1 Normal Pencere Camları

Normal pencere camları, çekme metodu ile değişik kalınlıklarda üretilmektedirler. Bu cam değer olarak 2 ila 7 mm aralığındadır. Cam malzemenin kalınlığına baktığımızda, boyutlarına bağlı olmak koşulu ile artış göstermektedir. Isı yalıtımı sağlaması bakımından camın kalınlık değerini yükseltmenin herhangi bir anlam ifade ettiği görülmemiştir (Ünal, 2017).

3.10.2.1.2 Güneş Kontrol Cam Çeşidi

Cam malzemeden geçebilen ışınların kontrol edilmesi, bu türdeki camlar ile sağlanmaktadır. Bu camlar, bir ya da iki taraflı olarak veya belirlenmiş renkler ile renklendirilmek şartı ile güneşten gelmekte olan yoğun enerjinin sadece belirli bir yüzdesini geçirerek üretilmektedirler (Ünal, 2017).

3.10.2.1.3 Mat Olan Camlar

Bu camlara matlaştırma yapılarak cam malzemenin yüzeylerini pürüzlü hale getirerek saydamlıklarına zarar verdiğiinden, camın arka kısmını göstermemeyi sağlamaktadır. Bu üretim yöntemi ile ışığın geçirgenliği azalmış olur (Ünal, 2017).

3.10.2.1.4 Kristal Olan Camlar

Bu türdeki cam malzemeler kurşun oksit içermekte olan camlar olarak bilinmektedir. Cam malzemeye, kurşun oksit ilavesi ile camın sertliği azaltılmış olur. Hususi olan parlatma makineleri aşındırıcılarla beraber kullanılarak levha durumuna getirilmektedir. İşte bu şekildeki cam malzemeler, ayna veya süs eşyası üretiminde kullanılırlar (Ünal, 2017).

3.10.2.1.5 Flot Olan Camlar

Bu üretim yöntemi, levha şeklindeki camın erimiş halde bulunan kalay üzerinden yüzdürme yöntemi ile geçirilmek sureti ile üretilmektedir. Bu yöntem ile ortaya çıkan cam malzemenin her iki yüzeyinin de birbirlerine paralel ve dalgasız

olması sağlanmaktadır. Genel olarak bu cam ayna üretiminde kullanılmaktadır (Ünal, 2017).

3.10.2.2 Empire Şeklindeki Camlar

Bu cam tipi, dökme ve silindirme metodu ile şekillendirilebilen cam tipidir. Düzgün bir masanın yüzeyinde gerçekleştirilen döküm yöntemi ile cam hamurunun üstünden, girintiler ve çıkıntılar biçiminde desenler bulunduran metal bir silindir malzemenin geçmesi ile elde edilmiş olmaktadır. Görünmesini istemediğimiz yerlerde dekoratif amaçlı kullanılırlar (Ünal, 2017).

3.10.2.3 Güvenlik Camları

Genel olarak, görünmesini istediğimiz durumlarda kullanılmakta olan, aşırı yük uygulandığında kırılan ya da kırılma gerçekleştikten sonra keskin parçalar meydana getirmeyen cam çeşididir (Ünal, 2017).

3.10.3 Cam Duvar Tuğlaları

Bu türdeki cam malzemeler, ışığı geçirme özelliği gösteren ve duvar örebilecek biçimde özel olarak şekil verilen cam türleridir. Bu cam çeşidi, presleme yöntemiyle şekil alan, iki tane yarı cam tuğlasının kenar kısımlarının sıcak ortamda eritilmesi ile birlikte birbirlerine yapıştırılması ile elde edilmektedirler. Aralarındaki gizlenmiş kuru hava ile iyi bir ısı tutucu özelliği kazanmış olmaktadır. İşte bu cam türüne çok farklı şekillerde resimler yapılarak farklı ısı geçirgenliğine sahip cam duvar tuğlaları elde edilmiş olur. Cam tuğla malzemeleri ile iki değişik tip duvar örülebilmektedir. İlk olarak; cam duvar tuğlalarının, bildiğimiz tuğla duvarlarında olduğu gibi harç malzemesi ile belirli bir sırada örülmesi şeklindedir.

İkinci olarak ise; cam duvar tuğla malzemelerini dışarıda pano şeklinde hazırlayıp, yerlerine takılmak suretiyle uygulanmaktadır. Her iki yöntemde de içerisinde kireç olan bir çimento harcı kullanılmalıdır. Dış duvar olarak örülmekte olan cam tuğla duvarlarında kullanılmakta olan harç bileşiminin içerisine, su geçirmez duruma gelebilen özel bir harç ilavesi kullanmak gerekir. Bu şekilde

yapıldığında derz çekilmiş yerlerden nem ve su geçişi engellenmiş olmaktadır. Birde camın genişmesinin gerçekleşebileceği söz konusu olduğundan cam duvarlarda düşey ve yatay yönlerde genişleme miktarı bırakılmalıdır.

Cam duvar tuğlasının kullanımı halinde ortaya çıkan olumlu özellikler;

- Verimli ve yaygın olan gün ışığı elde edilmiş geniş çalışma bölgeleri,
- Isı kayıplarını azaltmak,
- 37.6 ila 42 desibel arasında ses yalıtımları sağlamaktır (Ünal, 2017).

3.10.4 Cam Döşeme Blokları

Cam malzeme yüksek basınç dayanımına (10^8 N/m²) sahip olması nedeni ile eğilme gösteren yapılarda ışık geçirilmesini sağlama amacı ile kullanılırlar. Özel olarak döşeme kısımlarının alt taraflarına doğal olan ve yapay olan ışığın geçmesini sağlamaktadır. Bu şekilde alt bölümlerin aydınlatılması ile kullanılmakta olan bu tipteki döşemelere, ışık geçirebilen döşemeler tanımı yapılmaktadır. Bu şekilde üretilen döşemeler iki çeşittir.

İlk çeşidi, betonarme olan bir döşeme içine koyulmuş bulunan kare veya yuvarlak şekilde cam döşeme blokları, betonarme plak döşemesinin üst kısmında meydana gelen basıncın kuvvetini alarak betonarme malzeme ile bir süreklilik durumu sağlamaktadır. İkinci çeşidi ise, cam döşeme bloklarının kendine has büyüklüğüne indirgenmiş olan ebatlarda gözlerden oluşmakta olan bir taşıyıcı yardımı ile döşeme sistemindeki boşluk bölümlere sonradan yerleştirilmektedir (Ünal, 2017).

3.10.5 Cam Çatıların Örtü Malzemeleri

Camların ışığı geçirmelerinin yanında, suyu geçirmeme özellikleri ile çatılarda ışığı geçirebilen örtü malzemeleri olarak kiremitler, ondüleler ve trapezoidal kesitli olan malzemeler yerine bu camlar kullanılmaktadır (Ünal, 2017).

3.10.5.1 Cam Kiremit Malzemeleri

Camın presleme yöntemi ile üretimi sonucunda cam kiremit malzemeleri elde edilmiş olur. Cam kiremitlerin uygulama aşamasında öncelik olarak gaye, çatı katından ışık elde etmek olduğu için, ışık geçişine engel olmayacak şekilde bir kiremit yapımına ihtiyaç vardır. Cam kiremit malzemeleri, ışığı geçirme gerekçesi ile kullanıldığından ve bunun yanı sıra örtü görevi yaptığından ısı yalıtım malzemeleri ile beraber kullanılmamaktadırlar. Zira bu halde iken ışığı geçiremez duruma gelmektedirler (Ünal, 2017).

3.10.5.2 Ondüle Camlar

Bu tipteki cam malzemeler, genel olarak çatıların örtü malzemeleri olarak üretilmektedirler. Burada önemli olan beraber kullanılacağı için ondüle şeklindeki çatı örtü malzemeleri boyut açısından eşit olmalıdır. Ondüle cam malzemeleri küçük ve büyük olarak iki kısma ayrılmaktadır. Büyük olan camlar asbestli çimento çatı örtü malzemeleri ile birlikte kullanılmaktadır. Küçükler ise galvaniz sac olan ondüle levhalarla beraber kullanılmaktadırlar. Camın kalınlık değeri 6 mm olarak bilinmektedir (Ünal, 2017).

3.10.6 U Profil Şeklindeki Camlar

Türkiye’de üretimi yapılmayan U tipi camlar Almanya, Fransa gibi bazı batı ülkelerinde, özellikle süper market, büro, büyük mağazalar, hastaneler, okullar, spor salonları, fabrika, atölye gibi çeşitli yapılarda kullanılmaktadır. U tipi camlar, telli ve telsiz şeklinde üretilirler. Bu tipteki cam malzemelerin ek yerleri özel olan plastik macunlar ile kapatılmaktadırlar (Ünal, 2017).

3.10.7 Cam Mozaik Malzemeleri

Hamur kıvamında olan cam malzemenin içerisine antimon oksit ya da kriyolit ilave edilmesi ile mat bir duruma getirilir. Bu şekilde cam, ışınları düşük miktarda geçirdiği için ve aynı zamanda görüntü veremediği için kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Genellikle duvarların ve döşemelerin kaplamasında kullanılmaktadırlar. Cam mozaikler 13-20-30-40-60 mm boyutlarında üretimi

yapılabilmektedir. Mozaik tekniğinde ortaya çıkan ürünlerin kullanım amaçlarına uygun olarak arka kısmında bulunan yüzeylerinden plastik malzemeden yapılmış olan bir dokumaya veya ön yüzeylerinden bir kâğıt malzemeye yapıştırılmak suretiyle satışa hazır hale gelmektedir.

Cam mozaik malzemesinin kaplanmadan önce, duvar bölümünün ince ve kaba sıvalarının yapılmış bir şekilde olması gerekmektedir. İnce olan duvar sıvasının yüzeyinin de kolay bir şekilde yapışması için parlatılmalıdır. Mozaik kaplama kullanımı, genel olarak dış ortamlara karşın aşırı mukavemetli bir durumdadır. Dezavantaj olarak düşünülürse dış duvarlar iç kısımlardan sızan su buharlarını dışarıya çıkarmadıkları için sıcaklık farklarının aşırı fazla olduğu bölgelerde önemli bir yapı hasarları oluşmaktadır (Ünal, 2017).

3.10.8 Cam Lifler

Cam malzemenin lif şeklini alması ile elde edilen bu malzemeler, genel olarak sesleri emme ve ısı yalıtımını sağlamada kullanılmaktadır. Camlar lif durumuna geçmeden önce 1.15 W/mK° değerindeki ısı iletim katsayısının değeri camlar lif durumuna geçtikten sonra 0.025 W/mK° değerine kadar küçülebilmektedir.

Bu özelliğinden dolayı cam lifler, endüstriyel sıcaklıklardan hariç diğer sıcaklıklarda daima güvenle kullanılabilir (Ünal, 2017). Bu liflerin dayanımı ısı değişikliğine bağlıdır. Son dönemlerde çok kullanılan türlü plastik olan maddelerin, özel olarak film ve şeritlerin dayanım kazanmalarında cam lifleri yararlı hale gelmektedir. Asıl önemli olan türlü otomobil gövdelerinin, tankların, roketlerin ve uçakların bazı parçalarının imal edilmesinde özel bir yere sahiptir. Diğer bir kullanım alanı ise, cerrahların maskeleridir (Özdemir vd., 2006).

3.10.9 Cam Köpük

Bu malzemenin yapımı için cam malzeme, saf karbon ile beraber yumuşayana kadar ısıtılmaktadır. Kömür maddesi gaz çıkarmaya başladığında cam tamamen kapalı olan cam hücrelerinden oluşmakta olan bir köpük durumuna gelmektedir. Bu

köpük, yalıtım yapılan ortamlarda bulunan birçok özelliği olan bir maddedir. Bu özellikler; yanmama durumu, buhar geçirmeme, alev geçirmeme, haşerelelden etkilenmeme, kimyasal faktörlere dayanıklılık, hafif olma, işlenebilme özelliği ve yüksek ısıları tutma gibi birçok önemli özellikleriyle bilinmektedir (Ünal, 2017).



4. CAM ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE İŞLENEBİLİRLİK

4.1 Cam Üretimi

Camların üretimlerini, beş ayrı kısımdan oluşmaktadır. Bu üretimler iki kademededir yani ergimiş olan cam malzemenin ortaya çıkması ile camlara şekil verilmektedir. Bu işlemlerin yanı sıra parlatma ve kesme yapılmaktadır (Ünal, 2017). Beş ayrı işlemi sırası ile ifade edersek;

4.1.1 Temel Maddelerin Hazırlanması

Cam malzemenin bileşimine girecek olan temel maddeler ilk olarak bilinmeyen maddelerden ayrılması ile güzel bir şekilde öğütülerek işlem gerçekleştirilmektedir. Tek çeşit cam malzeme üretimi yapan firmalarda öğütme işlemi bitmiş olan temel maddeler, silolar yardımı ile depolanmakta ve siloların alt kısmındaki kapaklar açılarak istenilen miktarlarda malzeme, terazili bir şekilde arabalara alınmaktadır (Ünal, 2017).

4.1.2 Eritme İşlemi

Günümüz itibariyle eritme işlemleri, kapasite olarak azami 2000 kg civarında eritme yapabilen potalı fırınlarda veya kapasite bakımından daha fazla olan 10^6 kg civarındaki havuz şeklindeki fırınlar yardımı ile eritilmektedir. Eritme fırınlarının imalatında ateşe dayanıklı olan zirkon, alümin ve silis gibi yüksek kalitelere refrakter malzemeler kullanılmaktadır.

Havuz şeklindeki fırınlar, yüzme havuzlarına benzedikleri için havuz fırın ismini almıştır. Aşırı miktarlarda cam malzemenin üretilmesi için bu havuz fırınlar kullanılmaktadır. İşte bu tip havuzlarda takribi olarak $8 \cdot 10^5$ ila $10 \cdot 10^5$ kg civarında erimiş halde cam bulunmaktadır. Cam malzemeyi ortaya çıkaracak temel maddeler, bir itici mekanizma yöntemiyle havuz fırının ağız tarafından içeriye doğru itilmek suretiyle eritme işlemi başlamış olur.

Potalı fırınlar, içinde farklı cam çeşitlerine ait olan temel maddelerin eritilme işleminin yapıldığı birçok fırın bulunmaktadır. Cam çeşitlerinin çok fazla olduğu fakat camların miktarlarının düşük seviyelerde olduğu üretim yöntemlerinde havuz şeklindeki fırının kullanımı uygun olmamaktadır. İşte bu sebepten dolayı pota şeklindeki fırınlar kullanılmaktadır. Potalı fırınlarda temel olan maddenin kapasitesi en çok 2000 kg civarındadır (Ünal, 2017).

4.1.3 Biçimlendirme Yöntemleri

Temel olan maddelerin hazır hale getirilmesi ve eritilme işlemlerinden sonraki işlem dinlendirilen camın hamur halinde iken şekillendirilmesi gerekmektedir. Cam hamuru, belirli yöntemlerle şekillendirilmektedir (Ünal, 2017). Bunlardan bazılarına örnek verecek olursak;

- Üfleme Metodu
- Dökme ve Silindirleme Metodu
- Çekme Metodu
- Yüzdürme Metodu
- Presleme Metodu
- Lif Durumuna Getirme Metodu
- Köpük Durumuna Getirme Metodu
- Diğer Şekillendirme Metotları

4.1.4 Camın Tavlanması

Bu işlemin gayesi, üretim esnasında cam malzeme soğur iken ortaya çıkan iç gerilmeleri ortadan kaldırmaktır. Tavandan ısıtılarak devamlı olan bir kanalın içerisinde cam malzeme tekrardan ısıtılarak malzemenin içinde oluşan iç gerilmeleri ortadan kaldırıncaya kadar bekletmektir. Bu işlemin sonrasında yavaş bir şekilde soğutarak işlemi bitirmektir (Ünal, 2017).

Tavlama sıcaklığı yaklaşık olarak 500 °C civarındadır. Tavlama işlemi metallerde olduğu gibi cam işçiliğinde de önemlidir (Groover, 2007). Cam malzeme, sıcak ve akışkan hâldeyken şekillendirilmektedir.

Fakat cam soğuk ve sert olduğunda kullanıma hazır hale gelmektedir. Cam malzemenin kuşkusuz şekillendirme sıcaklığından oda sıcaklığına, soğuması gerekmektedir. Cam mamullerin birçoğu, önlem alınmaksızın soğumaya bırakılır ise, muhtemel olasılık olan kesilme ya da dekorlanma işlemi sırasında hatlarda kullanırken kırılmalar olmaktadır. Kırılmaların sebebi, cam malzemenin kendi içinde bulunan ve kırılmaya sebep olan gerilmelerdir.

Amacımız, bu gerilmeleri ortadan kaldırmaktır ve bu yüzden cam malzemeye şekillendirme sonrasında tavlama uygulanır. Tavlama işlemi, kontrollü bir soğutma prosesidir ve aynı zamanda ısıtmayı da gerektirebilmektedir. Örneğin; çelik gibi metaller, şekillendirme işleminden sonra çeşitli sebeplerden dolayı tavlanamaktadır. Fakat çelik malzemelerden farklı olarak cam malzemeler, gerilmeleri azaltmak için tavlanamaktadır. Tavlamayı etkileyen faktörler; kalınlık, kompozisyon, şekillendirme yöntemi, genişleme özellikleri, ürün tipi vb. faktörlerdir (Megep, 2013).

Dönüşüm bölgesinin üzerindeki bir sıcaklık değerinden soğutulan bir camda gerilme oluşmaktadır. Eğer bu gerilme kontrol edilemez ise cam ürünün çatlayıp parçalanmasına sebep olabilmektedir. Bu yüzden üretim sonrası soğutmanın kontrollü yapılması ve camın tavlama işleminden geçirilmesi büyük önem taşımaktadır. Sıcaklık değişimine bağlı olarak camda iki farklı gerilme oluşmaktadır. Gerilmeye sebep olan sıcaklık farklılığı sürdüğü sürece devam etmekte olan ve düşük sıcaklıklarda dahi, bu farklılık ortadan kalktığı zaman kaybolan gerilme, geçici gerilme olarak tanımlanmaktadır.

Sıcaklık farkının ortadan kalkmasına karşın varlığını sürdürmekte olan gerilme ise, kalıcı gerilme olarak tanımlanmaktadır. Kalıcı gerilme, genellikle dış yüzeyde baskı şeklinde, iç yüzeyde ise çekme şeklinde ortaya çıkmaktadır. Soğuma sırasında viskoz akmanın muhtemel olduğu, soğumanın ilk mertebesindeki sıcaklıklarda oluşan gerilme, geçici nitelikte olup tersinir olarak tanımlanmaktadır.

Genel olarak ifade ettiğimizde bir cam bloğu içinde kalan gerilme, viskoz akma ile rahatlamış olan bu tersinir gerilme, eşit ama ters işaretlidir. Kalıcı gerilme, soğuma hızı ile artış göstermektedir ve aynı soğutma hızı için başlangıç sıcaklığı ile birlikte referans sıcaklığı arasındaki fark arttıkça artmaktadır.

Aynı soğuma hızı için kalınlık miktarının artması ile birlikte kalınlığın karesini aşan bir oranda artış göstermektedir. Tavlama işlemi yapılırken, cam tavlama sıcaklığına ısıtıldıktan sonra aşağıdaki gibi benzer bir sıcaklık-zaman planlamasına uygun olarak soğutulmaktadır (Şekil 4.1). Tavlama bölgesinde sabit bir sıcaklıkta camın viskozitesi zamana bağlı olarak yükselir ve gerilmenin rahatlama hızı, takribi gerilmenin karesi ile artmaktadır. Gerilmedeki azalma şu şekildedir;

$$1/\sigma - 1/\sigma_0 = A_t \quad (4.1)$$

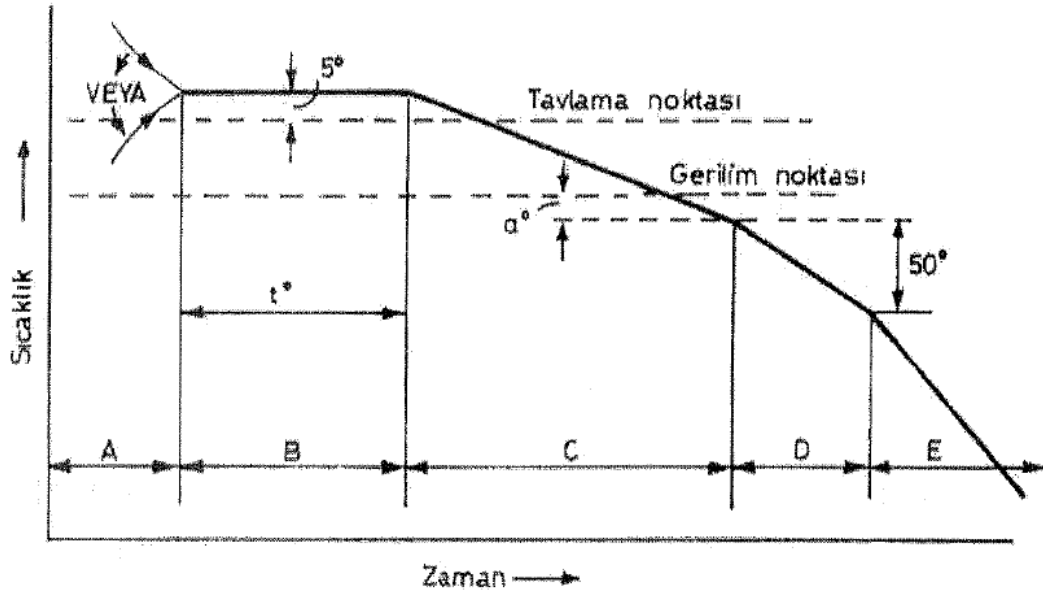
şeklinde ifade edilmektedir. Bu ifade de;

t = Zaman

σ_0 = Başlangıç gerilmesi

A = Tavlama Sabiti

σ = t zamanındaki gerilme



Şekil 4.1. Camın tavlama planı (Kaner, 2008).

Tavlama planı; camın bileşimine, boyutuna, şekline ve kullanım amacına bağlı olarak değişme göstermektedir. Cam öncelik olarak bünyesindeki gerilmelerin çok kısa bir zamanda giderileceği bir sıcaklık değerine ısıtılır ve eş sıcaklığa ulaşıncaya kadar bu sıcaklık değerinde tutulur (B bölgesi). Bu sıcaklık değerinin, camın kendi ağırlığı altında boyutlarını koruyabileceği bir seviyede olması gerekmektedir. Daha sonra cam, kontrollü bir şekilde soğutulmaktadır. Soğumaya bağlı olarak viskozite artmaktadır ve cam donma noktasının altında rijit durumda, elastik bir katı hal

almaktadır. Bu noktanın altında, soğuma her bölgede aynı hızda olduğu sürece daha fazla gerilme oluşmasına engeldir. Oluşacak gerilme tertibatlarının büyük bir çoğunluğu oda sıcaklığına soğuyup eş sıcaklığa geldiği zaman ortaya çıkmaktadır.

Yüzeyde soğuma hızı iç kısma göre daha az olduğu için, yüzeyde basma iç kısımda ise çekme karakterli gerilmeler oluşmaktadır. Tavlama sıcaklık değerinin üstündeki sıcaklıklarda camda herhangi bir gerilme oluşmamaktadır, çünkü viskoz akma ile ortadan kalkmaktadır. Soğutmanın, viskozitenin yeteri kadar yüksek olduğu bir noktadan başlaması halinde, gerilme tamamen giderilmez. Böyle olması halinde yüzeyde düşük bir çekme gerilmesine karşın iç kısımda bu durumu dengeleyecek basma gerilmesi ortaya çıkmaktadır (Persson, 1983).

Sıcaklık-zaman planında camın sıcaklığı bütün kesit boyunca gerilme noktasının altına düştüğü zaman, soğutma hızı, işlem tamamlandıktan sonra cam içerisindeki mevcut gerilme seviyesini etkilemeden artırma yapılabilir. Elastik katılarda sıcaklık farklılığından dolayı kaynaklanan bir gerilme, söz konusu olan sıcaklık farkı ortadan kalktığı zaman yok olacaktır. Kalıcı gerilme sadece tavlama bölgesindeki soğutma hızları ile belirlenmektedir (Kaner, 2008).

4.1.5 Camın Temperlenmesi

Plastik hale geçeceği sıcaklığın üzerine ısıtılan camın yüzeylerine hava üflenerek hızlı bir biçimde soğutma işlemidir. Yüzey soğuduğunda dış taraf kendini çekerek katılırken bu sırada iç taraf halen plastiktir ve dış tarafa kolayca uyumaktadır. İç taraftaki cam da soğuduğunda kendini çekecektir fakat dış taraf buna uyamayacağından iç gerilmeler ortaya çıkmaktadır. Bunlar yüzeyde basma iç kısımda çekme karakterlidir. Temperlenmiş camın yüzeyindeki artık basma gerilmelerinden dolayı, çekme gerilmelerine ve kırılmaya daha fazla direnç göstermektedir (Groover, 2007).

Temperleme işlemi ile camın darbeye, basınca ve ısılara karşın mukavemetini yükseltmek için bu işlem yapılmaktadır. Bu ısı işlemi ile cam malzemenin tavlama sıcaklık seviyesinin üzerine çıkarılarak ısıtma uygulanması ve sonrasında hızlı bir biçimde soğutma yapılması işlemidir.

Isıl işlem görmüş bu cam malzemeye mukavemet veren yüzeyde meydana gelen basma gerilmeleridir. Temperlenmiş cam malzemesine kesme, delme gibi uygulamalar yapılmaz. Çünkü temperleme işlemi cam malzeme için son aşamadır (Akçay vd., 2014).

Temperleme işleminin yapılma amacı, camın yüksek sıcaklıklara kadar dayanımını artırmaktadır. Aynı zamanda mekanik dayanımı da artırmaktır. Temperleme işleminde artık gerilmeler dağılım ve nitelik olarak önemli bir yere sahiptir. Temperleme sırasında camın sıcaklığı, yumuşama noktası değerine kadar yükseltilmektedir. Daha sonrasında hızlı bir şekilde soğutulmaktadır. Soğuma işlemi başladığında cam malzemenin dış yüzeyindeki tabakalar iç yüzeydeki tabakalara göre daha hızlı bir şekilde soğumaktadır. Bu tabakalar arasında sıcaklık farkları oluşmaktadır. Cam malzeme kristal bir yapıya sahip değildir. Homojen durumda olduğundan ve gerilmelerle karşılaşmadığında optik durumdan incelendiğinde izotropik bir hal almaktadır.

Cam malzemenin yüzeylerine düşmekte olan ışın demetlerinin birazı cam malzemedan yansımaktadır ve kalan kısmı camın içerisinde hareket etmeye devam etmektedir. Ortamın yoğun olması durumunda artış sebebiyle ışık kırılmaktadır. Cam malzemenin ışığı geçirmesi, içindeki ilave maddelerinin hepsiyle alakalıdır. Işık geçirgenliği, cam içerisindeki gidilen yolun ve soğurma katsayısının bir fonksiyonu olarak bilinmektedir. Aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmektedir.

$$\tau = e^{-\kappa L / \cos \theta} \quad (4.2)$$

L = Cam kalınlığı , θ = Cama giren ışın demetinin normal ile yaptığı açı

Yüzeylerin eksikliklerinin gerilmelerinin yoğunlaştırıcı tesirleri kırılmaların sebebidir ve kırılmaya çekme gerilmeleri de sebep olur. İşte bu sebeple temperleme, cam malzemenin yüzeylerine ön bası gerilmeleri uygulamak ve dayanımını yükseltmek için sık sık kullanılmakta olan bir ısıl işlemdir. Cam malzemeye yük uygulanırsa, onu kırarak şekilde çekme gerilmesini ortaya çıkarmadan önce yüzeylerdeki ön bası gerilmelerinin hepsini yenmesi gerekmektedir.

Cam malzemenin dayanımı yüzeylere verilmekte olan ön bası gerilmeleri kadar artmaktadır. Soğutulma işlemleri sırasında, kalınlıkları düşük olan camlarda, sıcaklık değışkenlikleri haliyle az olmaktadır. Bu hal artık gerilmenin düşmesine yol açmaktadır. Bu tesir az olan genleşme katsayılı cam malzemelerde etkin rol oynamaktadır. Temperleme işleminde camdan beklenen bazı özellikleri sıralayacak olursak:

- Cam malzemenin optik olarak düz olması
- Eğri olmama durumu veya dalgalanma olmaması
- İstenilen dayanıma sahip olması
- Optik kabiliyetlerini kaybetmemesi
- Temperlenmiş bir camın kırıldığında çok küçük parçalara ayrılması
- Keskin köşelere sahip olmayan parçalara ayrılması gerekmektedir.

Isıtma ve soğutma işlemlerinin yapıldığı cam malzemenin, fırınlarda kalma sürelerinin ve beklenen sıcaklığa ulaşabilmesi ve soğutmanın gerekli olan zamanda yapılması için teorik bir şekilde hesabı yapılmalıdır. Soğutma işlemindeki gaye, cam malzemelerde kalıcı gerilmeler oluşturmaktır. Kalıcı olan basınç gerilmeleri cam malzemenin dayanımını artırmaktadır. Soğumakta olan cam yüzeyinin tabakaları, iç tabakalara göre çok daha hızlı bir şekilde soğumaktadır. Bunun sonucuna bağlı olarak büzüşme yapmaktadır.

Büzüşmenin hızlarındaki farklılıktan ötürü çok daha hızlı büzüşmekte olan tabakada çeki gerilmesi, çok daha yavaş büzüşen tabakada ise bası gerilmesi oluşmaktadır. Sonraki aşamada cam malzemenin orta tarafları katılaşmaya başladıktan hemen sonra gerilmelerin yönleri değışmektedir. İç taraflar daha geniş sıcaklık aralıklarında soğuduğundan iç taraflarda çekme gerilmeleri, yüzeylerde ise bası gerilmesi oluşmaktadır. Bu gerilmelerin büyüklüğü soğutma hızlarının ve cam malzemenin kalınlığının bir işlevidir.

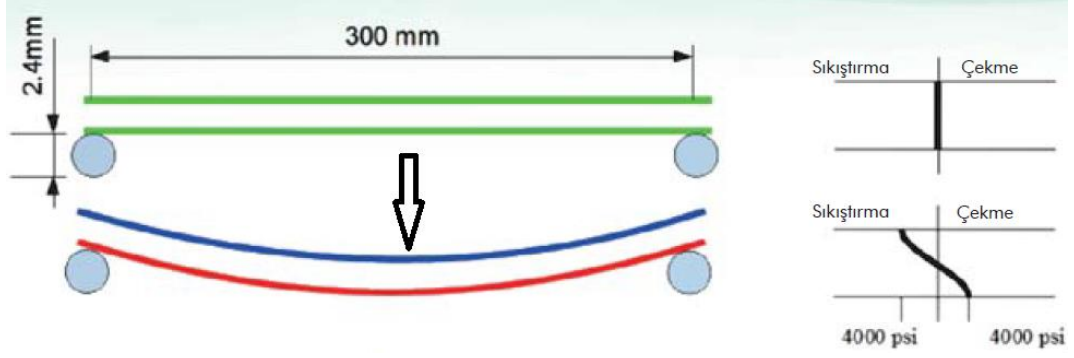
Soğutma işlemi, cam malzemeyi fazla zorlayan hızlı bir işlem olup, meydana gelen soğutma zorlanmış taşınım ile meydana gelir. Camın temperleme işleminde camın sıcaklığı, cam çeşidinin belirli olan yumuşama noktasının sıcaklık seviyesine kadar artırılmaktadır.

Daha sonrasında fırından çıkarılmaktadır ve hızlı bir şekilde soğutma işlemi uygulanır. Soğutmanın başlamasından sonra cam malzemenin, dış tabakaları hızlı bir şekilde büzüşme yapar ve sert duruma gelir. Cam malzemenin iç tabakaları akışkan durumdadır ve sıcaktır. Bu durumdan sonra genişlemeye devam etmektedir. İlerleyen süreçte ise, iç taraflarda soğuma işlemi başlamaktadır ve buna bağlı olarak büzüşme olayı gerçekleşmektedir. Lakin rijit hal devam etmektedir. Bu hal artık gerilmelerin meydana gelmesine sebep olmaktadır. Cam malzeme bütün tabakalarında eşit sıcaklıklara yaklaştıkça, yüzeylerde çok fazla artık basma gerilmesi ve iç taraflarda ise artık çekme gerilmeleri meydana gelmektedir (Özgül, 2009).

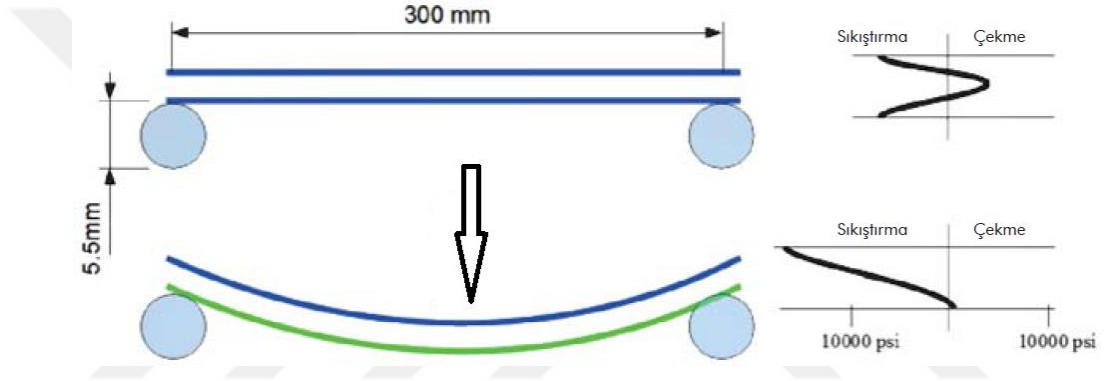
Soğutma işlemi sırasında, kalınlık miktarı düşük olan cam malzemelerde, sıcaklık değişkenlikleri az olmaktadır. Böyle olması halinde artık gerilmelerin düşmesine yol açmaktadır. Bu şekildeki bir tesir düşük genişleme katsayılı olan cam malzemelerde etkin bir rol oynamaktadır (Türkbaş ve Ataer, 2007).

Camın mukavemeti genel olarak bükme testleri ile ölçülmektedir. Kırılma için uygulanan baskı kuvvetine bakılmaktadır. Mimari camlarda kullanılan test dört nokta testidir. Camın dayanma kuvvetinin $9 \cdot 10^7$ Pa olması beklenmektedir. Şekil 4.2'de 300 mm boyunda tempersiz bir camın 2,4 mm derinliğe kadar bükülmesi için gerekli olan kuvvet $2,7 \cdot 10^7$ Pa'dır.

Uygulanan bu kuvvet camın kırılması için yeterli olacaktır. Temperli camlarda ise yüzeyler sıkıştırma gerilimine sahip olduğundan ve aynı ölçülerdeki camı 5,5 mm derinliğine kadar bükme işleminde yüzey sıkıştırma gerilimi sıfıra inmektedir (Şekil 4.3). Böylece kırılma meydana gelmez. Sonuç olarak temperli cam, tempersiz cama göre daha dayanıklıdır. Ayrı yeten yüzeyine gelen bir darbeye hemen kırılmaz (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).



Şekil 4.2. Tempersiz cam bükme testi (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).



Şekil 4.3. Temperli cam bükme testi (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

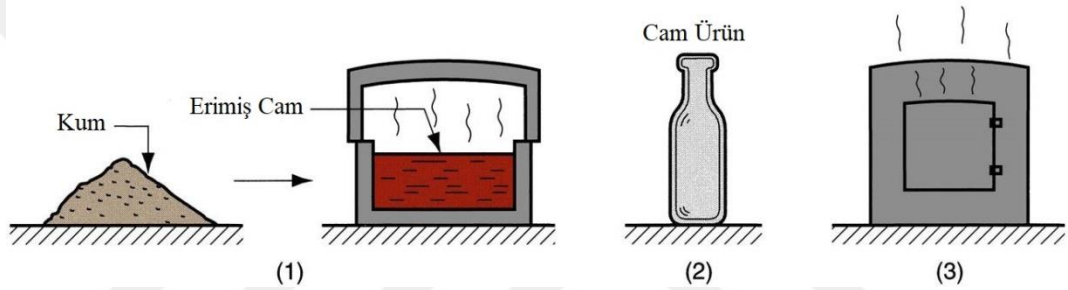
4.2 Camın Şekillendirme Yöntemleri

Cam, seramiklerin üç temel çeşidinden sadece biridir. Diğer iki çeşidi ise geleneksel seramikler ve mühendislik seramikleridir. Camın yapısı kristal yapıdan farklı olarak amorf bir yapıdadır. Diğer seramik malzemelerin yapıları kristaldir. Cam ürünler ticari anlamda neredeyse sınırı olmayan bir üretim çeşitliliğine sahiptirler. Üretilen bu cam ürünlere örnek verecek olursak; ampuller, içecek şişeleri, kavanoz, tabak, kâse, vazo, pencere camları, cam borular, cam elyaf, dev teleskop lensleri vs. Camı şekillendirmede kullanılan yöntemler, geleneksel ve mühendislik seramiklerine oranla oldukça farklı bir yönteme sahiptir. Cam işlemede, temel başlangıç malzemesi olan silikaya, camsı yapı oluşturmak için diğer oksit seramikleri ilave edilmektedir.

Cam şekillendirmede proses sıralamasını açıklayacak olursak; başlangıç malzemesi, sert ve katı halden viskoz sıvıya dönüştürülmek için ısıtılmaktadır. Daha sonra sıvı halde iken şekil verilmektedir. Soğuyup katılaştığında ise malzeme kristal yerine camsı halde kalmaktadır.

Şekil 4.4'te tipik bir cam şekillendirme yönteminde proses sıralaması şu şekildedir;

- (1) Ham maddelerin hazırlanarak eritilmesi,
- (2) Şekillendirme İşlemi
- (3) Isıl işlem yöntemi



Şekil 4.4. Tipik bir cam şekillendirmede proses sıralaması (Groover, 2007).

Hemen hemen bütün camlarda ana bileşen silika (SiO_2) maddesidir. Doğal kuvars için birinci kaynak madde kumdur. Diğer bileşenler istenen özelliklere ulaşmaya kadar ilave edilmektedir.

Soda külü (Na_2O verir), kireçtaşı (CaO verir), alümina (Al_2O_3) ve çimento (K_2O verir). Hurda cam da genellikle karışıma eklenmektedir. Eritmek üzere fırına yüklenen belirli miktar temel başlangıç malzemesine şarz (yük) denir. Camların erime sıcaklığı yaklaşık olarak $1500\text{ }^\circ\text{C}$ ila $1600\text{ }^\circ\text{C}$ aralığındadır.

Erimiş camın viskozitesi sıcaklıkla ters orantılı bir şekilde değişmektedir. Erime sonrasında şekillendirmenin hızlı bir şekilde yapılması durumunda, fırından alınacak olan camın sıcaklığı, şekillendirme işleminin gerektirdiği viskoziteye bağlı olarak ayarlanmaktadır. Camdan ürün elde etmek için kullanılan şekillendirme yöntemleri sırası ile şu şekildedir;

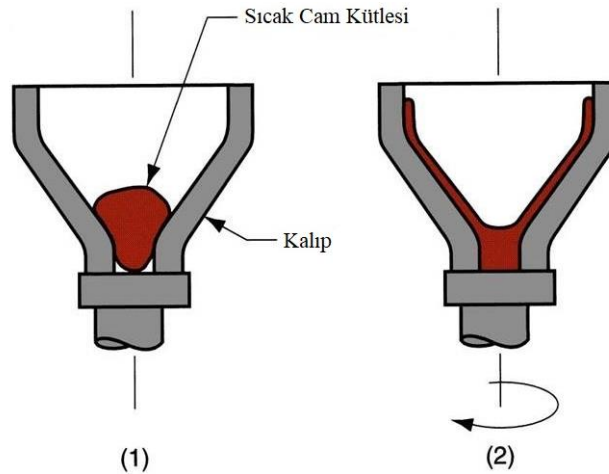
- Parça başı üretim için kullanılan ayırık yöntemler (şişe, kavanoz, tepsi ampul vb.)
- Düz cam ve cam boru üretmek için kullanılan sürekli yöntemler (cam levha, cam laboratuvar gereçleri, floresan ampuller vb.)
- Cam-fiber üretmek üzere kullanılan fiber yapım yöntemleri

Cam üfleme de içermekte olan el cam işçiliği çok eski bir tarihe dayanmaktadır. Ustalık gerektiren bu gibi yöntemler az sayıda değerli parçaların üretiminde günümüzde de kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra modern cam işleme yöntemlerinin çoğu kısmında, yüksek miktarlarda şişe, ampul, cam bardak gibi tek tek parçaların üretilmesinde ise yüksek oranda mekanize edilmiş teknolojiler kullanılmaktadır. Önemli şekillendirme yöntemlerini sırası ile açıklayalım (Groover, 2007).

4.2.1 Sıvama Yöntemi

Katot ışını tüplerinin TV ve bilgisayar monitörlerinin arka kısımları gibi çanak benzeri cam parçalarının sıvama yöntemi ile şekillendirilmesi sağlanır (Şekil 4.5).

- (1) Bir parça cam hamuru kalıbın içine akıtılır,
- (2) Kalıbın döndürülmesiyle birlikte erimiş haldeki cam kalıp yüzeyine yayılır (Groover, 2007).

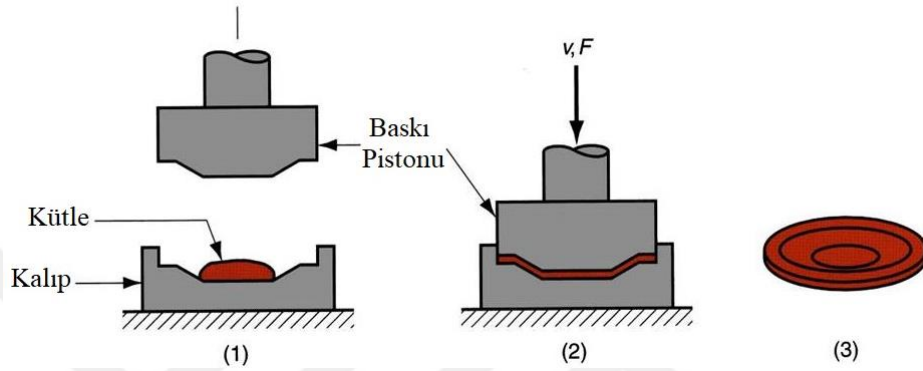


Şekil 4.5. Sıvama ile şekillendirme yöntemi (Groover, 2007).

4.2.2 Presleme Yöntemi

Şekil 4.6’da düz cam parçalarının kalıp içerisinde basılarak preslenmesi gösterilmektedir.

- (1) Bir parça cam hamuru fırından kalıba akıtılır,
- (2) Bir zımba kalıbı ile cam hamurunun üzerine basılır,
- (3) Zımba geri çekilerek basılmış ürün kalıptan alınır (Groover, 2007).

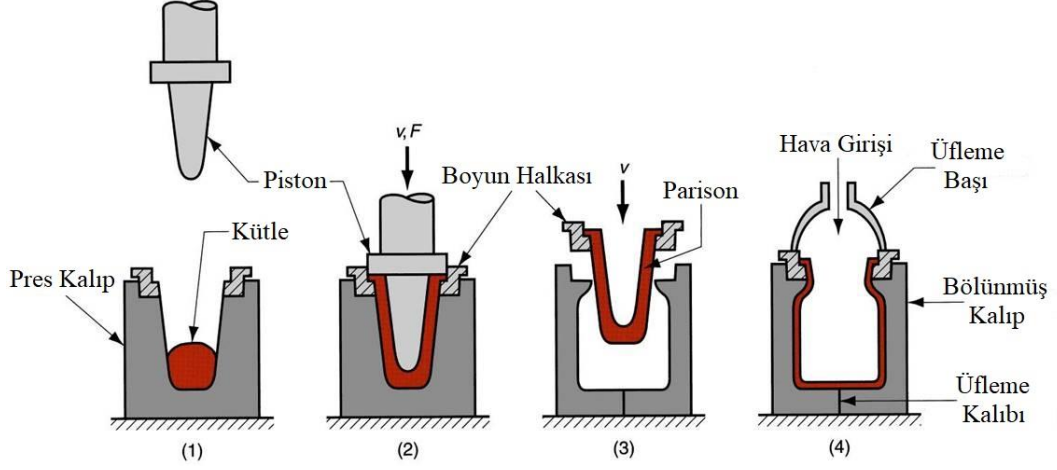


Şekil 4.6. Düz cam parçaların kalıp içerisinde basılarak preslenmesi (Groover, 2007).

4.2.3 Basma ve Üfleme Yöntemi

Şekil 4.7’de basma ve üflemede işlem sırası gösterilmektedir;

- (1) Erimiş cam hamuru kalıba akıtılır,
- (2) Parison denilen ilk aşama ön taslak basılarak şekillendirilir,
- (3) Kısmen şekillendirilmiş parison boyun halkası ile tutularak şişirme kalıbının ağız kısmına yerleştirilir,
- (4) Son şekline üflenerek şişirilmektedir (Groover, 2007).

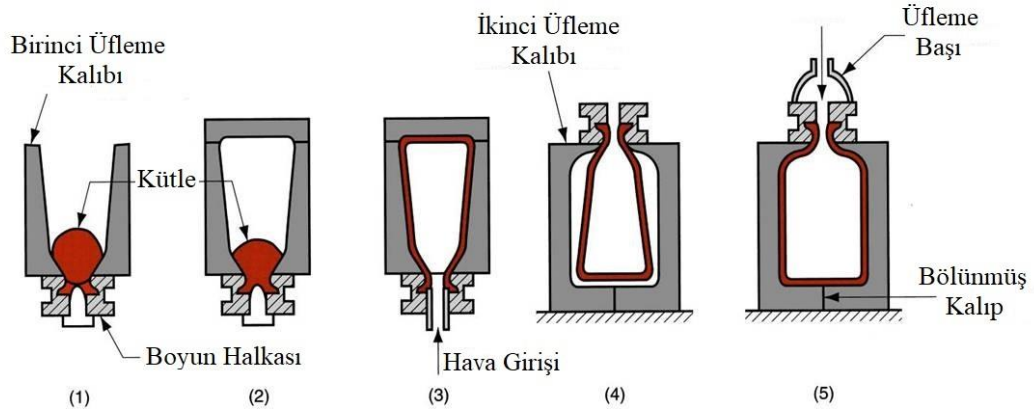


Şekil 4.7. Basma ve üfleme yönteminde işlem sırası (Groover, 2007).

4.2.4 Üfleme ve Üfleme yöntemi

Şekil 4.8’de üfleme ve üfleme yönteminde işlem sırası gösterilmektedir;

- (1) Erimiş cam hamur kalıba akıtılır,
- (2) Kalıp kapatılarak üflemeye hazır hale getirilir,
- (3) Birinci üfleme işlemi gerçekleştirilir,
- (4) Takribi olarak şeklini almış parça ters çevrilerek diğer bir şişirme kalıbına yerleştirilir,
- (5) En son şeklini alması için ikinci bir üfleme yöntemi gerçekleştirilir (Groover, 2007).



Şekil 4.8. Üfleme ve üfleme yönteminde işlem sırası (Groover, 2007).

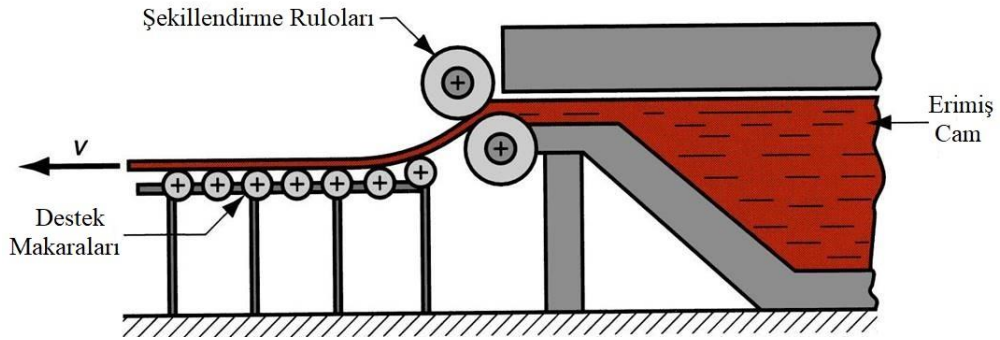
4.2.5 Döküm Yöntemi

Erimiş haldeki cam yeterince akıcı ise bir kalıp içine dökülmektedir. Uzay teleskoplarında kullanılmakta olan mercek ve aynalar gibi büyük ve içi dolu parçalar bu yöntem ile şekillendirilmektedir.

Soğuma ve katılaşmadan sonra mercek yüzeyleri, lepleme ve parlatma yapılmak suretiyle son hale getirilmektedir. Camların dökümü genelde özel işler dışında çokta kullanılmaz. Daha küçük mercekler genelde presleme yöntemiyle yapılmaktadır (Groover, 2007).

4.2.6 Düz Plaka Haddeleme

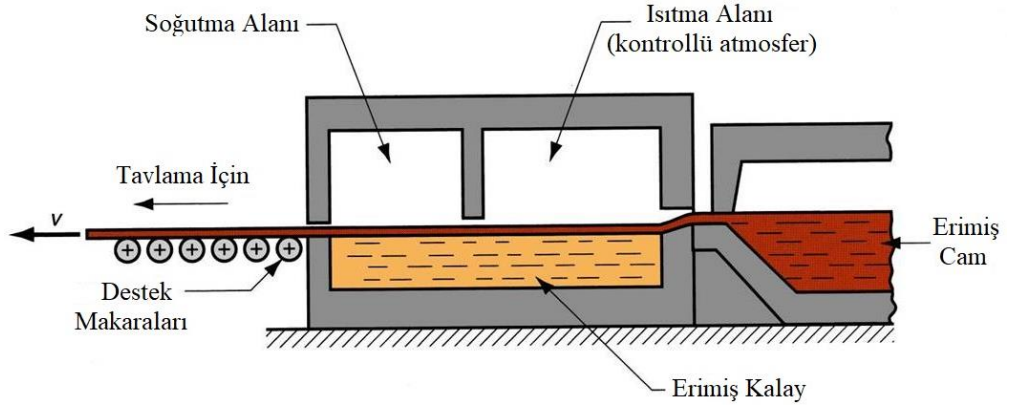
Eritme fırınında bulunan cam malzeme zıt yönde döndürülmekte olan ve aralarında levha kalınlığı kadar mesafe bulunan iki merdane arasında sıkıştırılıp soğutulmaktadır (Şekil 4.9). Paralellik ve düzgünlük için taşlama ve parlatma ile işleme devam edilir (Groover, 2007).



Şekil 4.9. Düz plaka haddeleme yöntemi (Groover, 2007).

4.2.7 Yüzdürme Yöntemi

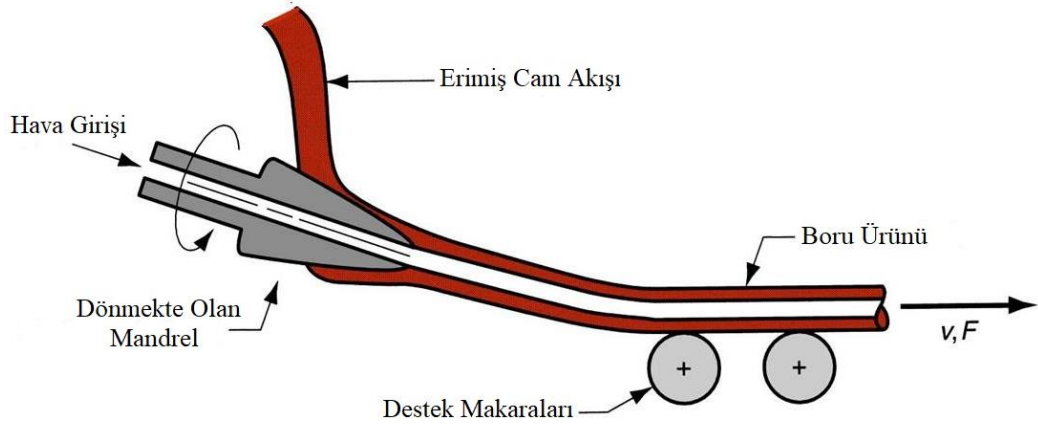
Erimiş haldeki cam ergimiş kalay havuzuna akıtılır ve bu halde iken katılaşmaya bırakılır (Şekil 4.10). Bu yöntem ile üretilen levha camların kesitleri uniform ve yüzeyler çok daha düzgün olmaktadır. Ekstra olarak taşlama ve parlatma gibi işlemlere gerek kalmaz (Groover, 2007).



Şekil 4.10. Levha camı üretiminde kullanılan yüzdürme yöntemi (Groover, 2007).

4.2.8 Danner Yöntemi

Erimiş haldeki cam içi delik dönmekte olan bir mandrelin üzerine akıtılmaktadır (Şekil 4.11). Böyle bir cam boruyu üretirken mandrelin içine hava üflenerek işlem gerçekleştirilir (Groover, 2007).



Şekil 4.11. Danner yöntemi ile cam boruların şekillendirilmesi (Groover, 2007).

4.2.9 Cam Fiberlerin Şekillendirilmesi

Cam fiberler iki gruba ayrılmaktadır. Her biri için farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunlar;

- (1) Fibroz cam yün
- (2) Elyaf takviyesi yapılmış plastikler

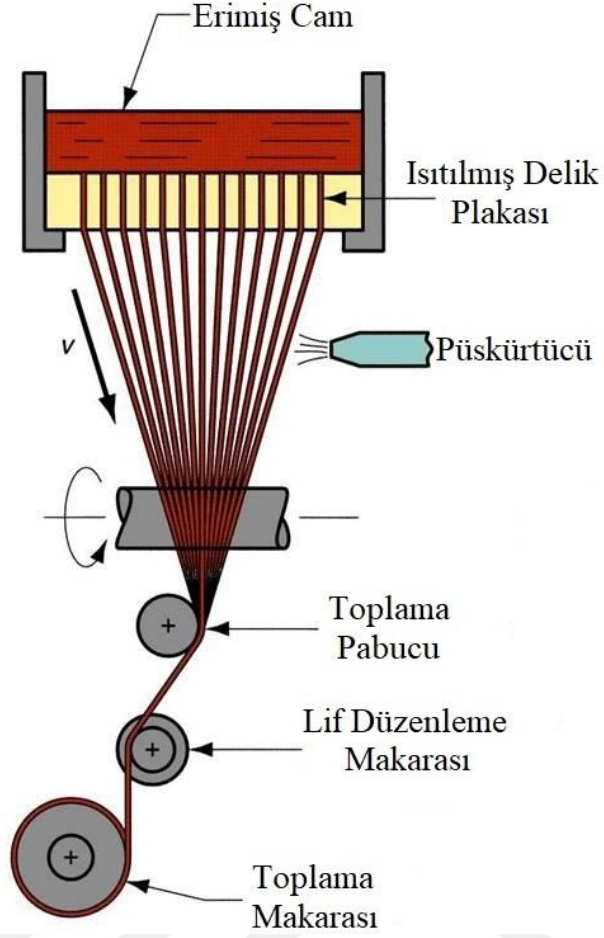
- (1) Fibroz cam yünü: İçindeki fiberlerin rastgele dağıldığı ısı ve akustik yalıtımında, hava filtrelerinde kullanılmakta olan yüne benzer bir tiptir. Savurmalı spreyleme yöntemi ile üretilmektedir.
- (2) Elyaf takviyesi yapılmış plastikler: Dokuma, iplik ve fiber optik kablo yapımında kullanıma uygun uzun, sürekli filamentler (elyaf) şeklindeki tiplerden oluşmaktadır. Çekme yöntemi ile üretilmektedirler (Groover, 2007).

4.2.10 Savurmalı Spreyleme

Bu yöntem ile erimiş haldeki cam döndürülmekte olan ve etrafında çok sayıda küçük delikler bulunan tencere tipine benzer sıcak bir kalıp içerisine akıtılmaktadır. Cama etki eden merkezkaç kuvvetleri camın deliklerden akması ile süngerimsi bir yapı meydana getirmektedir. Böyle bir malzemenin ısı ve ses yalıtımı çok iyi olmaktadır (Groover, 2007).

4.2.11 Cam Elyaf Çekilmesi Yöntemi

Platin alaşımından yapılan ve ısıtılmış haldeki bir plakada çok sayıda küçük delikten geçirilerek soğutma işlemi uygulanmaktadır (Şekil 4.12). Daha sonra demetler halinde çekilmek suretiyle makaralara sarılarak çok küçük çaplarda (alt limit ~ 0.0025 mm) sürekli cam elyaf üretimi sağlanmaktadır (Groover, 2007).



Şekil 4.12. Sürekli cam elyafların çekilmesi yöntemi (Groover, 2007).

4.2.12 Camın Bitirilme İşlemleri

Camın bitirme işlemleri taşlama, kesme ve parlatma gibi işlemlerdir. Levha şeklinde olan camlar genellikle yüzey hatalarını, çizik izlerini ve iki yüzeyini paralel hale getirmek için taşlama ve parlatma işlemi yapılır.

Presleme ve üfleme yöntemi ile üretilen parçalarda iki parçalı kalıp birleşme yerindeki çapakların temizlenmesinde parlatma işlemi uygulanmaktadır. Sürekli bir biçimde üretilmekte olan bu levha camlar ve boruların belirli boylarda kesilmesi ilk olarak cam kesme diskleri ile ya da kesme elmaslarıyla çizilmesi, sonra bu çiziklerden camın kırılması ile işlem gerçekleştirilmiş olur. Bazı cam eşyalara çeşitli yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Bunlar; mekanik kesme, kumlama, parlatma işlemleri, kimyasal dağlama ve kaplamadır (Groover, 2007).

4.2.13 Cam Parça Tasarım Esasları

Camın saydam olması ve sahip olduğu üstün optik özellikleri onu mühendislik malzemeleri içerisinde oldukça önemli kılar. Saydamlık istenen uygulamalar için, büyütme, ışık geçirgenliği ve benzer optik özellikler söz konusu olduğunda cam, malzeme olarak hemen hemen rakipsizdir.

Bazı ışık geçiren plastikler, tasarım gerekçelerine bağlı olarak cam yerine kullanılabilirler. Cam çekmeye oranla basmaya daha fazla dayanmaktadır. Cam parçalar çekme zorlanmalarına değil de basma zorlanmalarına maruz kalacak şekilde tasarlanıp, üretilmelidir. Cam malzeme gevrek bir yapıdadır.

Cam parçalar kırılmaya neden olabilecek kadar yüksek gerilmelerin veya darbeli zorlanmaların olduğu yerlerde kullanılmazlar. Bazı cam bileşimlerine sahip camlar çok düşük ısıl genleşme katsayısına sahip olmalarından dolayı ısıl şokları tolere edebilmektedir. Bu ısıl şokları tolere edebilen camlara örnek olarak ısıcamlar verilebilir. Gerilme yığılması noktalarından kaçınmak üzere köşelerde ve dış kenarlarda büyük radyüsler kullanmak gerekmektedir. Cam parçalarda dişler bulunabilmektedir. Fakat bu dişler kaba şekilde olmamalıdır (Groover, 2007).

4.3 Matkap İle Cam Delme İşlemi

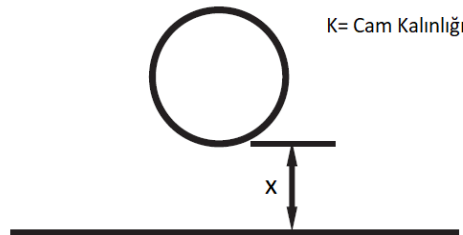
Camı delmenin birçok metodu vardır. Bunlardan bazıları şunlardır; lazer kesim, su jeti ile kesim, aşındırıcı su jeti ile kesim vb. metotlar vardır. Tez çalışmasında matkap ile cam delme yöntemi anlatılacaktır. Öncelikle cam delme işleminin yapılabilmesi için camın belirli boyutlarda kesilmesi gerekmektedir. Mobil cihazlar, beyaz eşya sektörü, televizyon ekranları üretiminde vb. birçok yerde cam kesme teknolojisine ihtiyaç duyulmaktadır. Daha önceki araştırmalar, kesme mukavemeti, takım özellikleri ve işleme sıcaklıkları üzerinde çalışarak maliyetlerin azaltılabileceğini araştırmıştır. Cam kesme işleminde çoğu özellik dikkate alınmalıdır (Öztürk, 2014). Cam malzeme kırılğan ve gevrek bir yapıya sahip olduğundan dolayı, delik delme işlemi ahşap ve metal malzemelerde olduğu gibi tek bir yüzeyden ilerleyerek delik delme işlemi yapılamamaktadır. Cam malzeme, tek bir matkap ile delinmek istenirse, matkabin uç kısmı cam malzemenin diğer tarafından çıkarken,

camı patlatmaktadır. Bu patlamada camın şekli, şekilsiz ve düzensizdir. Herhangi bir camı düzgün bir şekilde delmek için cam delme iki taraflı yapılmaktadır. Delme işlemleri sırasında, cam malzeme ile kesici matkap arasında bilindiği üzere sürtünmeden dolayı aşırı bir ısı meydana gelmektedir.

Bu ısyı ortadan kaldırmak için matkap malzemesinin deforme olmaması için işlem anında ortama su verilmektedir. Soğutma işleminin faydaları matkap malzemesinde erimeyi önlemek ve delme sırasında çıkan talaşların delme bölgesinden uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Genel olarak çoğu cam delme matkabının uç merkezinde soğutma suyu kanalları bulunmaktadır. Bu kanallar boru şeklinde olduğundan matkabın içindeki su pompalar vasıtası ile basılarak soğutma işlemi gerçekleşmektedir (Akbaş, 2010).

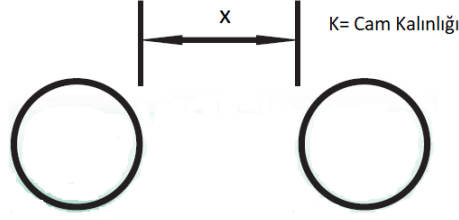
Cam malzemenin üzerinde bir delik olması ısıtma işleminde sorun yaratmaktadır. Bu deliklerin iç kenarları ısyıyı soğuracağından delik çevresini sarmakta olan cam kütlesinden daha fazla genişlemektedir. Şayet cam kenarına yakın bir delik var ise bir çekme gerilimi oluşmaktadır (Şekil 4.13). Birde delik kenarında küçük çatlaklar var ise cam malzemenin kırılmasına veya çatlamasına neden olacaktır. Bu sebeplerden dolayı delik kenarlarının çapaksız olmalı ve şayet mümkün ise havşalı olmalıdır. Böyle olursa soğutmada muhtemel olması beklenen kırılmalar azalacaktır. Cam malzemeye açılan delikler; kenarlara, köşelere ve delikler arası mesafelere göre işlem görmektedir. Bu işlemleri sırası ile açıklayacak olursak;

- Delik çapı cam kalınlığından küçük olmamalıdır.
- Deliğın cam malzeme kenarına mesafesi cam kalınlığının iki katından az olmamalıdır ($x \geq 2K$).



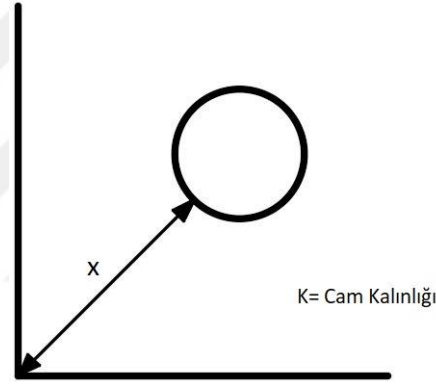
Şekil 4.13. Deliğın cam kenarına olan mesafesi.

- Delikler arasındaki mesafe camın kalınlığının iki katından az olmamalıdır ($x \geq 2K$).



Şekil 4.14. İki delik arası mesafe.

- Cam malzemenin köşesinden deliğin kenarına olan mesafe cam kalınlığının dört katından büyük olmalıdır ($x \geq 4K$).



Şekil 4.15. Camın köşesinden deliğe olan mesafe.

- Deliğin kenarı ile camın kenarı arasındaki mesafe, minimum delik çapı kadar olmalıdır (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

Kullanılan makine de cam delme işlemi cam yatay konumda iken yapılmaktadır. Cam delme işleminde cam iki taraflı delindiğinden cam kalınlığı arttıkça alt ve üst matkaplar arasındaki delme mesafeleri artış göstermektedir. Alt kısımda bulunan matkap delme işleminin birazını gerçekleştirir. Üst kısımda bulunan matkap ise delme işlemini tamamen gerçekleştirir. İşlemi bitirme görevi üst matkaba aittir. Üst matkabin delme derinliği alt matkaba göre daha fazladır. Bu sebepten dolayı üst matkap ömrü zayıflamaktadır. Tablo 4.1’de matkapların camı iki taraflı olarak delme mesafeleri verilmiştir.

Bilindiği üzere matkap çapı azaldıkça devir artırılır, matkap çapı arttıkça devir azaltılır. Bu şekilde yapıldığında iyi bir yüzey kalitesi oluşmaktadır (Karaağaç, 2017).

Tablo 4.1. Delik delme işlemindeki parametreler (Karaağaç, 2017)

Cam Kalınlığı (mm)	Matkap Derinliği (mm)		
	Alt	Üst	Minimum Değer
3	1,5	1,8	0,3
3,5	1,85	2,2	0,35
4	2	2,4	0,4

4.3.1 Delik Delme İşlemindeki Adımlar

Cam delme işlemleri sırasında yapılan işlemler şöyledir;

- Yükleme ve Boşaltma İşlemi
- Sıkıştırma İşlemi
- Çift Taraflı Delme İşlemi
- Soğutma İşlemi
- Gönyeleme İşlemi ve Sensör Kontrolü
- Hız Ayarlama İşlemi
- Pozisyon Alma İşlemi

Camı sıkıştırma işleminde delik kenarlarında çatlama ve kötü yüzey oluşmaması için cam iki taraftan da baskı plakaları ile sıkıştırılmaktadır (bkz. Şekil 4.24). Kullanılan baskı plakaları camı çizmemesi için plastik malzemenin yapılmıştır. Camlar delinmeden önce konveyöre verilir ve gönyeleme işleminden geçirilir. Camların delinmesi için yataydaki düzlemi çok iyi olmalıdır. Eğer düzlem sıkıntılı ise birçok hata meydana gelecektir (Karaağaç, 2017).

Cam delme işleminde hem üst matkap hem de alt matkap yüksek bir hızda cam malzemeye yaklaşarak delme işlemi için hazır hale gelmektedir. Alt tarafta bulunan matkap camın alt yüzeyinden cam kalınlık miktarının yaklaşık olarak %30 ila %70'i kadar delme işlemini gerçekleştirilmesi gerekir.

Bu yüzdellik dilimi kullanıcı belirlemektedir. Aslında bu yüzdellik dilimin eşit olması gerekmektedir. Çünkü temas yüzeyleri eşit olacaktır. Delme yüzdesinin eşit olması, matkap malzemesindeki aşınmanın dengeli olmasını sağlamaktadır. Delme işlemini gerçekleştiren matkaplar yeni bir delme işlemi için konumlarına hızlı bir şekilde dönmektedir. Cam matkapların uç kısmında bulunan kesme bölgesinde küçük elmas parçacıkları ve emdirilmiş aşınma parçacıkları bulunmaktadır (bkz. Şekil 4.28). Delik çaplarına göre uygun devir ve ilerlemeler kullanılmaktadır. Tablo 4.2’de delik çaplarına göre iş mili devirleri verilmiştir (Akbaş, 2010).

İyi bir delme işleminin gerçekleşmesi için sadece kullanılan takım değil, talaşlı üretim alanındaki takım tezgâhlarının, kendilerinden beklenen işlevlerini yerine getirmeleri için tasarım ve imalatın amaca uygun olarak imal edilmesi gerekmektedir. Takım tezgâhının mekanik yapısına baktığımızda, üzerinde bulunan takımlar ve aparatları, tezgahın rijit durumunu bozmadan taşıma işlemini gerçekleştirebilmelidir.

Asıl önemli olan ise, tezgâh çalışırken kesici takıma gelen kesme kuvvetlerinin etkisi ile tezgâhın parçaları rijit durumunu koruyabilmeli ve deforme olmamalıdır. Takım tezgâhının uzun bir ömre sahip olması için hareket eden parçaların yüzeylerinin aşınmaması gerekmektedir. Talaş kaldırma işleminden dolayı ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin güvenli bir şekilde karşılanması için kesici takımın dayanım özellikleri iyi araştırılmalıdır (Korkut ve Dönertaş, 2003).

Talaşlı imalatta imal usulleri kullanılarak işlenen yüzeyler doğal olarak kesme parametrelerinden etkilenebilmektedir. Uygun seçilmeyen işleme parametreleri kesici takımların hızlı bir şekilde aşınmasına ve kırılmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra iş parçasının bozulmasına ve yüzey kalitesinden doğacak ekonomik kayıplara sebep olmaktadır (Habalı vd., 2006).

Kesici takımların kaplama olan malzemeleri ve parça işlemede kullanılan parametrelerden kesme hızları ile birlikte ilerleme hızının da iş parçasının yüzeylerin pürüzlülüğüne etkisi olduğu araştırılarak uygulanmıştır. Kaplama malzemesi olduğu zaman, kesme ve ilerleme hızlarının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin değişken olduğu belirtilmektedir (Gökkaya vd., 2004).

Delik delme işlemlerinin, talaşlı imalatlar arasındaki yeri çok önemli ve özeldir. Delik delme işlemleri sırasında, aşırı bir yüzey pürüzlülüğü, aksenel kaçıklık, çapak oluşumu, takımın aşınması ve dairesellik gibi birçok istenmeyen durum söz konusudur. Bu durumlar sebebi ile ürünün kalitesi ve maliyetinin belirlenmesi açısından önemli bir yere sahiptir. Dolayısı ile makinelerin parçalarının birbirleri ile hassas çalışmaları ve üretimde kalitenin iyi bir seviyeye gelmesi için istenmeyen durumların ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Kesme işleminde ortaya çıkan ilerleme kuvveti, aşınma, pürüzlülük ve moment gibi kavramlar kesme parametrelerinin ayarlanması ile iyi bir duruma gelebilmektedir. Dolayısıyla optimum kesme parametrelerinin iyi bir şekilde belirlenmesi ile verimlilik ve hassasiyetin artırılması sağlanmış olur (Bayraktar vd., 2017).

Delik delme işlemine bakıldığında talaş kaldırma işlemleri arasında önemli bir yere sahiptir. Yaklaşık olarak delme işlemleri sektörde üçte birlik kısmı oluşturmaktadır. Delme işlemi genel olarak son işlemde yapılmaktadır. İmalat endüstrisine bakıldığında modern imalat geliştirilmesine rağmen geleneksel delik delme işlemi ekonomik olması ve basit uygulaması ile halen yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Tönshoff vd., 1994). Delik delme işlemleri aşırı karmaşık mekanik oluşumları yapısında barındıran geleneksel bir uygulama yöntemidir. Delme işlemlerinde uygun olan delme parametreleri çoklu regresyon analizi kullanılarak tespit edilebilir (Karaca, 2016).

Delik delme işlemleri kimi zaman torna ve freze işlemleri ile karşılaştırma yapılsa da delik delme işleminde talaş kırma ve talaş boşaltma işlemi önem arz etmektedir. Deliğin derinliği ne kadar uzun olursa işlemleri kontrol etmek ve talaş kaldırma işlemi zorlaşacaktır. Delik delme işlemleri esnasında ortaya çıkan talaşın oluşumunda kesme kuvvetleri, kesmenin sıcaklığı ve delik yüzeyinin kalitesi ölçünün tamlığını haliyle etkileyecektir. Ayrıyeten delik delme yöntemleri esnasında ortaya çıkan talaş parçasının atılabilmesi de deliğin kalitesini direkt olarak etkilemektedir. Yani kesmenin parametrelerine göre bu işlemler değişiklik göstermektedir.

Kesmenin hızı ve ilerlemenin değeri delik delme işlemlerinde çok önemli bir yere sahiptir. Çünkü bunlar kesici takımın yani matkabın performansını etkileyen önemli unsurlardandır (Yağmur vd., 2013).

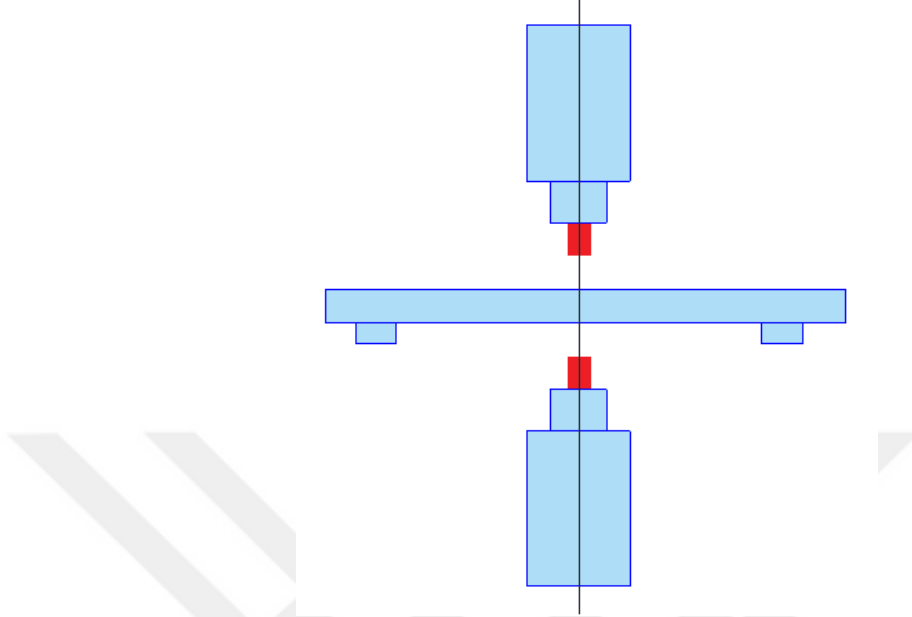
Tablo 4.2. Delik çaplarına göre örnek iş mili devirleri (Akbaş, 2010)

Delik Çapı (inch)	Delik Çapı (mm)	Motor Devri (Rpm)
1/8	3,18	2500
3/16	4,76	2250
1/4	6,35	2000
5/16	7,94	1500
3/8	5,52	1250
7/16	11,1	1000
1/2	12,7	950
9/16	14,28	925
5/8	15,87	875
2/3	16,93	850
11/16	17,46	850
3/4	19,05	825
7/8	22,22	775
1	25,4	700
1 1/8	28,57	675
1 1/4	31,75	650
1 3/8	34,92	600
1 1/2	38,10	550
1 5/8	41,27	550
1 3/4	44,45	550
2	50,80	525
2 1/4	57,15	500
2 1/2	63,50	475
3	76,20	450
3 1/2	88,90	425
4	101,60	400
6	152,40	300

Matkap ile cam delme işlemlerini sırası ile açıklayalım. Cam delme işleminde alt ve üst matkapların duruş pozisyonları ve cama ne kadar mesafede girdiği aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

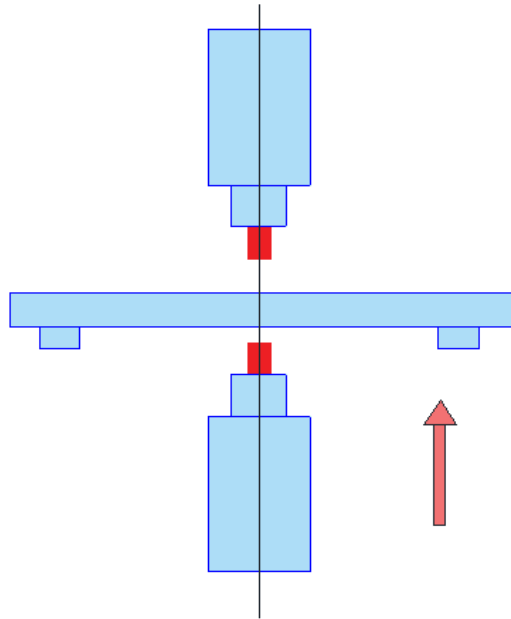
Delme işleminin yapıldığı cam kalınlığı 4 mm olduğu için alt matkap cama 2 mm kadar girecektir. Üst matkap ise delme işlemini bitireceği için cama 2,4 mm kadar girecektir. Üst matkabın fazla ilerlemesinin sebebi iki matkap arasında oluşan izi silmek ve delik içindeki fazla artık camı delik içinden düşürmektir.

1) Cam ilk olarak konumunu alır ve sıkıştırma işlemi yapılmaktadır. Cam koordinatlarına göre delme alanına gitmektedir (Şekil 4.16).



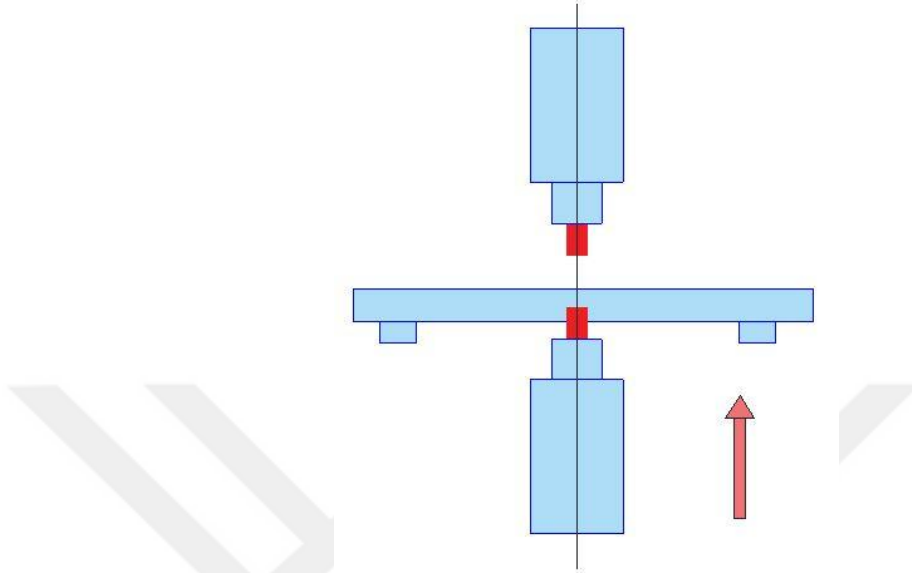
Şekil 4.16. Camın pozisyon alması ve sıkıştırılması.

2) Alt kısımda bulunan matkap cama 1 mm mesafede yaklaşmaktadır. Yaklaşma hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu şekilde üretim hızı artış göstermektedir. Delme hızı düşürülüp işleme devam edilir (Şekil 4.17).



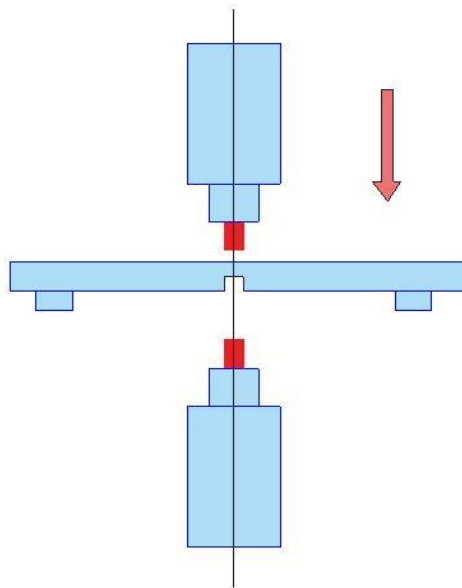
Şekil 4.17. Matkabin yaklaşma pozisyonu ve yönü.

3) Daha sonra alt kısımda bulunan matkap camın kalınlığına göre belirlenen mesafe de delme işlemine başlamaktadır. Bu esnada üst kısımda bulunan matkap hareket etmemektedir (Şekil 4.18).



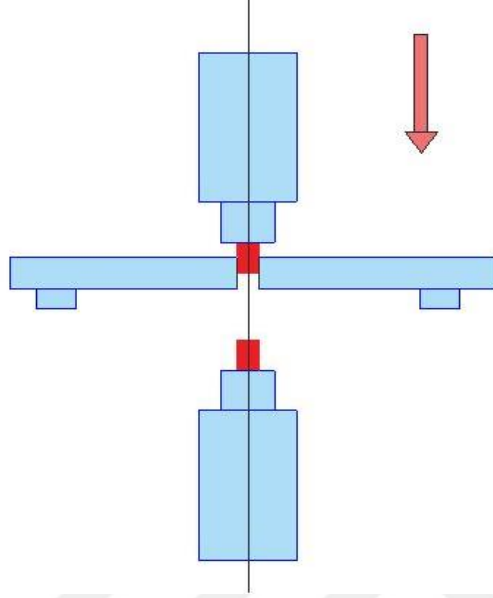
Şekil 4.18. Matkabin cam içinde ilerlemesi.

4) Sonra üst kısımda bulunan matkap cama 1 mm mesafede yaklaşmaktadır. Burada da yine yaklaşma hızı yüksektir. Bu esnada alt kısımda bulunan matkap cam delme işlemini bitirip geri eski konumuna dönerken üst kısımda bulunan matkap cam delme işlemi için hazırdır (Şekil 4.19).



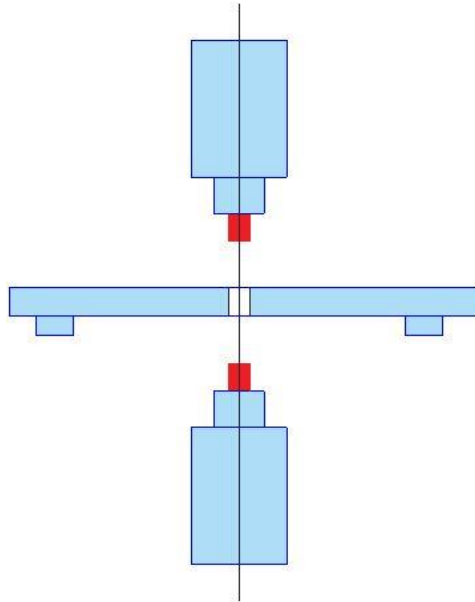
Şekil 4.19. Matkabin camı delmesi.

5) Delme işlemini üst kısımda bulunan matkap delik içerisinde ilerleyerek tamamen gerçekleştirmektedir. İyi bir yüzey kalitesi ve delik çapının değişmemesi için uygun delik delme hızı ayarlanmaktadır (Şekil 4.20).



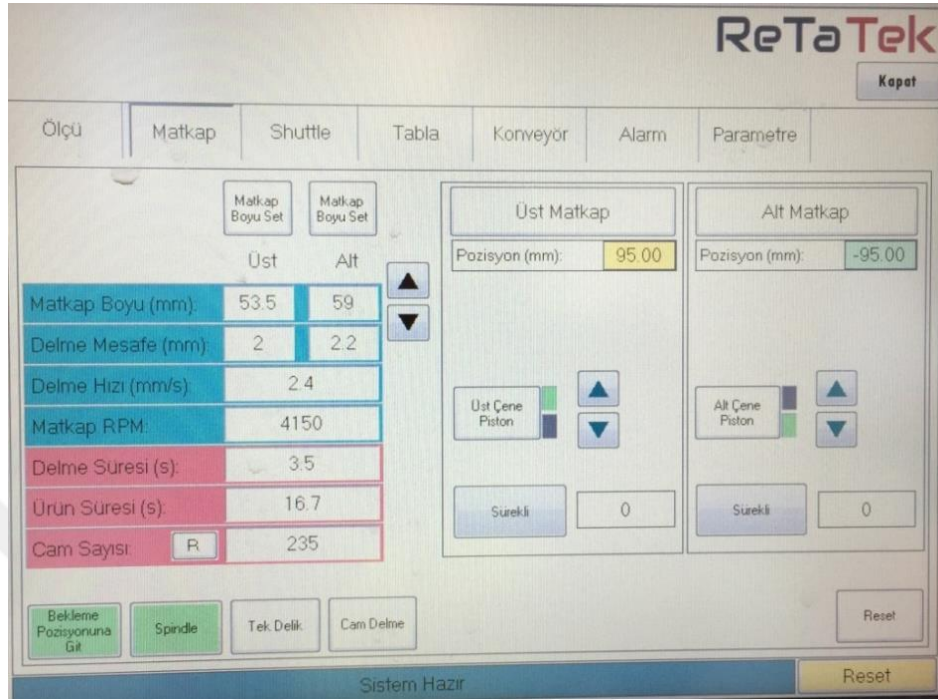
Şekil 4.20. Delme işleminde matkap sırası.

6) Son olarak delme işlemi bitmiş ve matkaplar eski pozisyonunu almaktadır. Yeni bir delik için işlemler bu şekilde sırası ile devam etmektedir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Delme işleminin bitişi.

Retatek cam delme makinasında delik delme işlemlerinin girdi parametreleri aşağıdaki gibi bir bilgisayar ekranında kontrol edilmektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Delme işlemi için girilen parametrelerin kontrol ünitesi.

Belirli ölçülerde kesilmiş olan cam malzeme delik delme işlemi için hava ile çalışan pompalar ile vakumlanarak cam taşıma bandına bırakılmaktadır (Şekil 4.23).



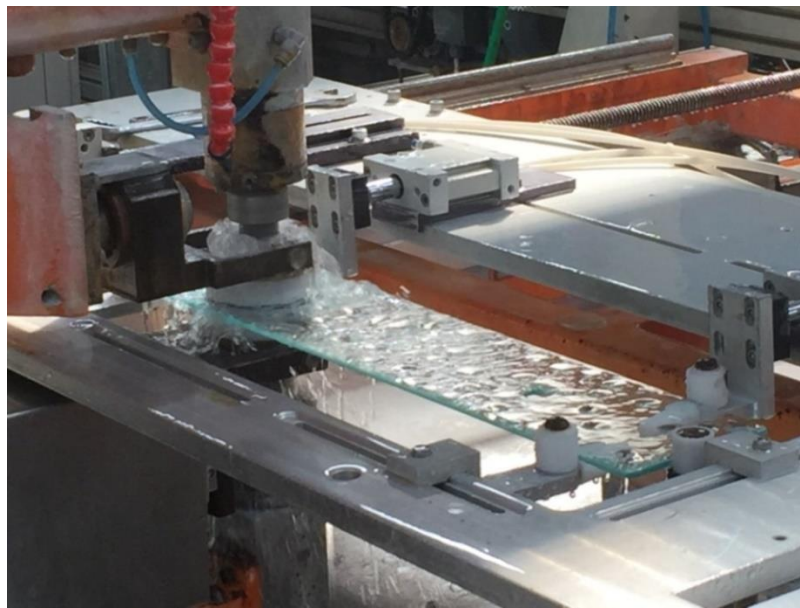
Şekil 4.23. Camın vakumlanması.

Cam malzeme delinirken çatlama ve kırılma meydana gelmemesi için baskı plakaları ile sıkıştırılarak delme işlemi gerçekleştirilir. Kullanılan baskı plakası cam malzemeyi çizmemesi aşındırmaması için plastik malzeme kullanılmaktadır (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Cam sıkıştırmada kullanılan baskı plakası.

Cam delme işlemi belirlenmiş devir ve ilerlemelerde soğutma suyu ve baskı plakası kullanılarak yapılmaktadır. Cam malzeme delinmeden önce gönyeleme yapılmaktadır (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Camın delinmesi.

Cam delme işlemi bitmiş olan camlar tekrar vakumlanarak bir sonraki işlem için ilerleme bantlarında hareketine devam etmektedir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Delinmiş camın hatta ilerlemesi.

Delme işlemi bitmiş olan cam malzeme bantlarda hareket ederek yıkama bölümüne gelmektedir. Yıkama işlemi sarımlı fırçalar ile yapılmaktadır. Daha sonra kurutma işlemi ve gözlem yapılmaktadır (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Cam yıkama bölümü.

4.3.2 Cam Delme Matkapları İle İlgili Detaylar

Cam delme matkapları metal gövde ve kesici kısımda bulunan elmas-bağlayıcı karışım olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır (Şekil 4.28).



Farklı tiplerdeki elmaslar arasında karşılaştırma izni veren sertlik ve aşınma direnci elmasın en önemli özelliklerinden biridir. Birçok kayıt elmasın sertlik ölçümlerini rapor etmiştir (Blank vd., 1999). Şekil 4.29’da örnek bir cam delme matkabının detayları verilmiştir. Matkap uçlarında kullanılan elmasların üzerleri daha iyi bir şekilde kesmeleri ve bağlayıcıların elmas tanelerini iyi tutması açısından nikel veya titanyum ile kaplanmaktadır. Kaplama bir malzemenin ömrünü uzatarak, dayanım sağlamaktadır.

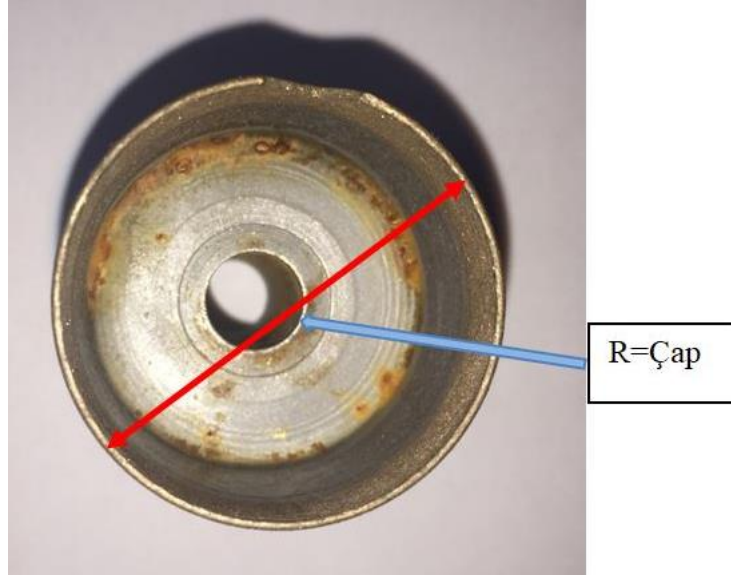
Matkaplarda yumuşak bağlayıcılar kullanılmaktadır. Matkap karışım formülleri önemlidir. Sinterleme derecesi yaklaşık olarak 700 °C civarındadır. Bağlayıcılar yumuşak olduğu için sinterleme derecesi önemlidir. 5 °C bir sıcaklık farkı olması bile kalite açısından çok farklı etkiler ortaya çıkarmaktadır. Matkap uçlarının bağlayıcı ve aşındırıcı kısımlarının boyu yaklaşık olarak 8 ila 10 mm civarındadır. Genelde 2 mm olan bölümde gümüş kaynak bulunmaktadır.



- Matkap Uç Boyu 75 mm
- Elmas-Bağlayıcı Karışım Uzunluğu 10 mm
- Matkap Et Kalınlığı 1 mm
- Matkap Çapı (Ø) 11,4 mm

Şekil 4.29. Örnek matkap detayları.

Şekil 4.30'da gösterildiği gibi bir cam delme matkabının delik çapı ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 4.30. Matkap çapı görünümü.

Çoğu metal vb. delme işlemlerinde soğutma suyu kullanıldığı gibi cam delmek içinde bu soğutma suyuna ihtiyaç vardır. Soğutma suyu matkabın iç kısmında bulunan delikten verilmektedir (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. Soğutma suyunun verildiği delik.

Cam delme matkapları uygulanan yüke bağlı olarak ve malzeme içerisindeki değişimlerden dolayı zorlanarak kırılmalar meydana gelmektedir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. Kırılmış matkap ucu resimleri.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal ve yöntem bölümünde kullanılan takımlar, makineler ve yöntemler anlatılmıştır. Cam delme işleminde kullanılan makinanın özellikleri ve çalışma prensibi açıklanmıştır. Materyal bölümünde; deneylerde kullanılan malzeme, numunelerin hazırlanması, kullanılan makineler ve takımlar sırası ile açıklanmıştır. Yöntemde ise; eksenal olarak meydana gelen kaçıklık miktarının belirlenmesinde üç boyutlu ölçüm cihazı (CMM) kullanılmıştır (bkz. Şekil 5.7). Deneylerde kullanılan matkap malzemesinde meydana gelen değişiklikler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntülenmiştir (bkz. Şekil 5.11). Ayrıca deneylerden elde edilen sonuçlar için varyans (ANOVA) analizi, regresyon analizi ve Monte Carlo simülasyonu kullanılarak optimizasyon yapılmıştır.

5.1 Materyal

5.1.1 Deneylerin Malzemeleri

Deney numunesi olarak bronz reflekte cam ve düz cam kullanılmıştır (bkz. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2). Bronz reflekte camlar, kendine has görünümü ile güneş ışınlarını süzme ile aydınlık sağlayan dayanıklı ürünlerdir (bkz. Şekil 5.1). Bu camlara özel bir kaplama ve desen çalışmaları yapılmaktadır. Bu ürünler; balkon camlarında, evlerde ve benzeri yerlerde kullanılırlar. Düz camlar ise genellikle pencere camlarında kullanılmaktadır. Çok yüksek görüş kapasitesine sahip olan bu camlar güvenlik camı olarak da kullanılmaktadır. Düz camlar kullanıldıkları yere göre temperli ya da tempersiz olabilmektedir.

5.1.2 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deney numuneleri üç adet 100*600 mm, bir adet 70*800 mm ve bir adette 70*400 mm ölçülerde cam kesme makinalarında kesilmiştir. Ayrıyeten delinmiş bazı küçük boyuttaki camlarda deneyler için kullanılmıştır. Numunelerin delik delme işlemi Retatek CDH 6060 tipi bir makinada yapılmıştır. İki farklı cam türünde 18 adet delik delinmiştir.

Bronz reflekte camındaki 9 adet delik Ø18,3 mm matkap ile delinmiştir (bkz. Şekil 5.1). Düz camdaki 9 delik ise Ø37,4 mm matkap ile delinmiştir (bkz. Şekil 5.2). Farklı olarak diğer makinalardan da 7 adet delinmiş düz cam numuneleri alınmıştır (bkz. Şekil 5.3). Bu makinalar; Glassline, Taiwan ve Retatek makinalarıdır.

Elde edilen deney numunelerinden farklı olarak bu makinalardan değişik çaplarda, devir (dev/dak) ve ilerlemelerde (mm/s) delme işlemi uygulanmış numunelerde incelenmiştir. Kullanılan matkap çapları sırası ile şöyledir; Ø6 mm, Ø9 mm, Ø17 mm, Ø20 mm, Ø25 mm, Ø38 mm, Ø40 mm şeklindedir.

Tablo 5.3'te bu farklılıklar ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir. Deneylerde kullanılan matkapların devir (dev/dak), ilerleme (mm/s) ve cam kalınlığı (mm) değerleri aşağıdaki çizelgelerde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 5.1. Retatek makinası Ø18,3 mm matkap takımı için devir, ilerleme ve cam kalınlığı değerleri

Makina Retatek CDH 6060 (Matkap Çapı = Ø 18,3 mm)			
Deney Numarası	Cam Kalınlığı (mm)	Devir (dev/dak)	İlerleme Değeri (mm/s)
1	4	3200	2,5
2	4	3200	2,75
3	4	3200	3
4	4	3450	2,5
5	4	3450	2,75
6	4	3450	3
7	4	3700	2,5
8	4	3700	2,75
9	4	3700	3

Tablo 5.1'de Ø18,3 mm matkap çapı için cam numunelerinin hangi devir ve ilerlemeler de delineceğini gösteren parametreler verilmiştir. Cam kalınlığının 4 mm olduğu görülmüştür.

Tablo 5.2. Retatek makinası Ø37,4 mm matkap takımı için devir, ilerleme ve cam kalınlığı değerleri

Makina Retatek CDH 6060 (Matkap Çapı = Ø 37,4 mm)			
Deney Numarası	Cam Kalınlığı (mm)	Devir (dev/dak)	İlerleme Değeri (mm/s)
1	4	2000	1,5
2	4	2000	1,65
3	4	2000	1,8
4	4	2500	1,5
5	4	2500	1,65
6	4	2500	1,8
7	4	3000	1,5
8	4	3000	1,65
9	4	3000	1,8

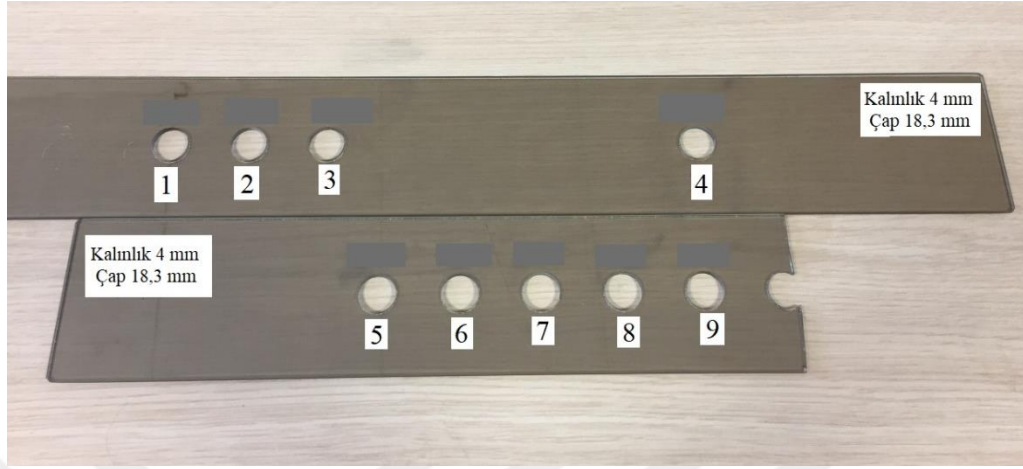
Tablo 5.2’te Ø37,4 mm matkap çapı için elde edilen cam numunelerinin hangi devir (dev/dak) ve ilerlemelerde (mm/s) delme işlemi yapılacağını gösteren değerler verilmiştir.

Tablo 5.3. Retatek-Glassline-Taiwan makinaları farklı matkap çapları için devir, ilerleme ve cam kalınlığı değerleri

Retatek-Glassline-Taiwan Makinaları (Matkap Çapları = Ø (6-40) mm)				
Deney Numarası	Cam Kalınlığı (mm)	Çap Değerleri (Ø)	Devir (dev/dak)	İlerleme Değeri (mm/s)
1	4	38	2300	1,5
2	4	40	2300	1,5
3	4	9	3000	2,4
4	4	20	3100	1,4
5	6	25	3200	2,5
6	4	17	3500	2,8
7	4	6	4000	3

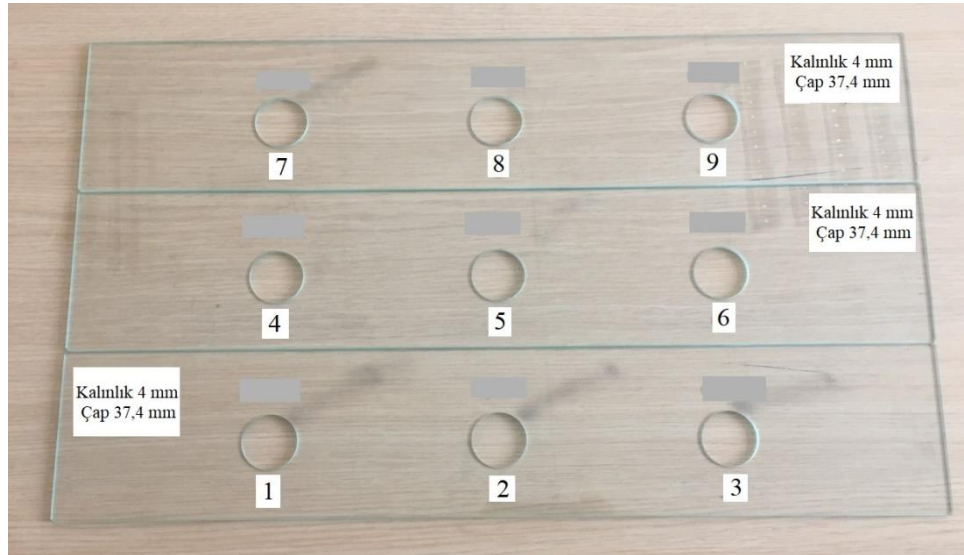
Tablo 5.3’te elde edilen deney numunelerinden farklı olarak Retatek, Glassline ve Taiwan makinalarından farklı çaplarda delme işlemi uygulanmış deney numuneleri de alınmıştır. Bu numuneler farklı devir (dev/dak) ve ilerlemelerde (mm/s) delinmiştir. Burada önemli olan çok fazla numune ile incelemeler yapmaktır.

Şekil 5.1’de Ø18,3 mm matkap ile bronz reflekte cam malzemesine 9 adet farklı devir (dev/dak) ve ilerlemelerde (mm/s) delme işlemi uygulanmıştır.



Şekil 5.1. Bronz reflekte camı için Ø18,3 mm matkap takımı kullanılarak elde edilen deney numuneleri.

Şekil 5.2’de Ø37,4 mm matkap ile düz cam malzemesine delme işlemi uygulanmış 9 adet delik gösterilmiştir. Yine bu delikler için farklı devir (dev/dak) ve ilerlemeler (mm/s) kullanılmıştır.



Şekil 5.2. Düz cam için Ø37,4 mm matkap takımı kullanılarak elde edilen deney numuneleri.

Şekil 5.3'te elde edilen deney numunelerinden farklı olarak Retatek, Glassline ve Taiwan makinelerinden farklı çaplarda, devir (dev/dak) ve ilerlemelerde (mm/s) delme işlemi uygulanmış delikler ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Düz cam için farklı matkap çapları kullanılarak elde edilen deney numuneleri.

5.1.3 Cam Delme İşleminde Kullanılan Makineler

5.1.3.1 Retatek Cam Delme Makinesi

Cam delme işleminde Retatek CDH 6060 marka bir makine kullanılmıştır (Şekil 5.4). Retatek makinesi 2018 yılında Türkiye’de üretilmiştir. Makinanın tipi; çift kafalı tam otomatik yükleme ve boşaltmalı cam delme hattı olarak tanımlanmaktadır. Makinadaki eksen hareketleri toplam 9 adet servo motor ile sağlanmıştır. Bu hareketler aşağıdaki gibi sıralayacak olursak şöyledir;

- 1) Hareketli kafa sağ sol hareket
- 2) Sabit kafa üst matkap yukarı aşağı
- 3) Sabit kafa alt matkap yukarı aşağı
- 4) Hareketli kafa üst matkap yukarı aşağı
- 5) Hareketli kafa alt matkap yukarı aşağı
- 6) Alt tabla ileri ve geri
- 7) Üst tabla ileri ve geri
- 8) Yükleme robotu ileri ve geri
- 9) Boşaltma robotu ileri ve geri



Şekil 5.4. Retatek cam delme makinesi.

Hattın başından gelen camlar konveyör üzerindeki sensör yardımıyla algılanır ve delinmesi için konveyör üzerinde durmaktadır. Sonar yükleme robotu bu camı pnömatik pistonlu yukarı aşağı çalışan bir mekanizma ile vakumlayarak konveyörden alır. Delinmek üzere alınan cam delik tablasına bırakıldıktan sonra cam delme işlemi başlamaktadır. Delik delme işlemi bittiğinde boşaltma robotu ile delinen camı vakum yardımı ile alır ve yıkama konveyörüne bırakarak prosesi bitirmektedir.

Delme işleminde kullanıcının ekrandan girdiği değerler doğrultusunda alt ve üst tabla girilen ölçülere geldikten sonra matkapların alt ve üst çeneleri kapanarak cam sabitlenmektedir ve delme işlemi başlamaktadır. Delik delme prosesinde operatör tarafından cam cinsine ve delik çapına bağlı olarak ilerleme hızı, matkap dönüş hızı gibi parametreler ayarlanmaktadır. Delme işleminde matkapların içinde bulunan deliklerden su verilerek soğutma işlemi yapılmaktadır.

Cam hem alttan hem de üstten delinerek işlem gerçekleştirilmektedir. Makinada kullanılan vidalı mil ve kremayerlerin hassasiyeti 0,02 mm'dir. Alt ve üst tabla, matkap kollarının yukarı aşağı hareketi ve hareketli kafanın sağ-sol hareketleri vidalı mil ile sağlanmaktadır. Yükleme ve boşaltma motorlarının hareketleri ise kremayer pinyon ile sağlanmaktadır.

5.1.3.2 Glassline Cam Delme Makinesi

Delik delme işleminde Glassline 8011-3-1 modeli bir makine kullanılmıştır (bkz. Şekil 5.5). Glassline makinesi 2012 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde (USA) üretilmiştir. Makinada dört adet kafa tertibatı vardır. Her bir kafa tertibatı mili motor üzerine monte edilmiştir. Bir bilyeli vida milin içine ve dışına hareket etmektedir. Makinada iki taraflı kayışlar bulunmaktadır ve belirli mesafelerde çıkıntılar vardır.

Makine otomatik konumda olduğunda hareket bir anahtar ile tetiklenmektedir. Her bir hareket yerinin kendine ait bir düğmesi vardır. Cam ebatlarına uyum sağlamak için makineye ait sabit ve hareketli bir kenar vardır. Hareketli taraf bir bilye vidası üzerine monte edilmiştir ve bir servo motor vidalı bilyeyi içeri ve dışarı hareket ettirmektedir.

Parça sabit bir tarafa ve hareketli bir tarafa, bir kılavuz kenarına ve bir iz kenarına sahiptir. Makinanın maksimum yarıçapı 17 mm'dir. 0.117-0.134 m/s kayış hızı vardır. Tavsiye edilen mil için rpm: 10.000-12.000'dir. Kayışlardaki kurşun malzeme camın düz bir şekilde makineden geçmesi için ayarlanmalıdır.

Anahtarlar düzenli olarak kontrol edilmelidir. Kayışlardaki kurşun malzeme, çarpmalardan ve deliklerden arındırılmış olmalıdır. Kayışların nasıl çalıştığını görmek için kontrol gerekmektedir. Bu şekilde kayışların ömrünü de uzatabiliriz. Bu makinadaki hareket servo tahrikli olduğundan camın üzerindeki boyut değişimi kontrol edilmektedir ve ayarlanabilmektedir. Servonun enkoder okuma özelliği tüm bunları mümkün kılmaktadır.

Bu işlemlerin hassas olması için aşağıdaki adımları yapmak tavsiye edilmektedir;

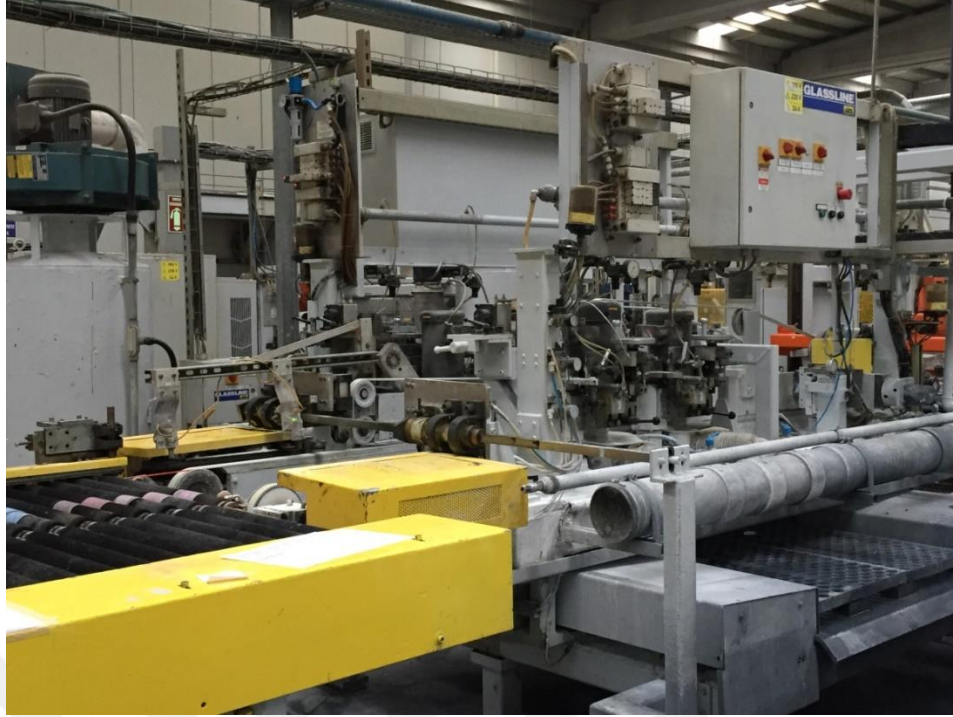
- Aşınma ve yıpranmalar için düzenli kontrol edilmeli,
- Kayışlarda aşınma ve yıpranma için kurşun malzeme olup olmadığı kontrol edilmelidir.

İşlemlerin otomatik olarak devam etmesi için aşağıdaki koşullar gereklidir;

- Servo motorların işlevlerini eksiksiz yerine getirmesi gerekir,
- Servo motorların kontrolü yapılmalıdır,
- Millerin durumu kontrol edilmelidir,
- Bant hızları düşük olmalıdır (0.117-0.134 m/s).

Tüm şartlar mevcut ise ve otomatik işlemler başlamış ise, aşağıdaki eylemler gerçekleştirilebilir;

- Cam daha önceden hesaplanmış bir konuma hareket etmektedir.
- Kurşun malzeme uç, anahtarlara çarptığında kayışlar gecikme süresinin bir mesafesi kadar hareket ettirdiğinde kam, içeri giriş ve çıkışlarda harekete başlamaktadır.



Şekil 5.5. Glassline cam delme makinesi.

5.1.4 Cam Delme İşleminde Kullanılan Matkaplar

Matkaplar cam delme işleminde önemli bir yere sahiptir. Matkapların kesme alanı uç kısımda bulunan elmas-bağlayıcı karışım bölgesidir. Matkap ucu ve gövdesi ile ilgili resimler gösterilmiştir (bkz. Şekil 4.28). Ayrıca matkap çapı ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Matkap ucunun kullanılması için, metal gövde ve elmas-bağlayıcı bulunan kısımlar darbe görmemelidir. Aksi takdirde iyi bir kesme yüzeyi oluşturamaz ve kullanıldığı yerde tahribatlara yol açmaktadır. Matkaplar zamanla deformasyona uğramaktadır ve bunun sonucunda hasarlı hale gelmektedir. Hasarlı matkap uçları ile ilgili resimler gösterilmiştir (bkz. Şekil 4.32).

Eğer matkap ucundan bir kopma meydana gelirse çapta bir değişiklik meydana getirmektedir. Soğutma suyu matkabın iç bölgesindeki delikten verilmektedir ve tahliye deliklerinden fazla su atılmaktadır (bkz. Şekil 4.31). Matkap ile cam delme işleminde soğutma suyu, ilerleme miktarı, devir, baskı plakalarının büyüklüğü ve küçüklüğü, camın kalınlığı delme işlemlerinde önemli faktörlerdendir. Kullanılan matkapların et kalınlığı 1 mm'dir.

Resimlerde görülmekte olan sarı renkli bölge elmas-bağlayıcı karışımın uzunluğu, kullanılan matkap çaplarına göre değişmektedir (Şekil 5.6).

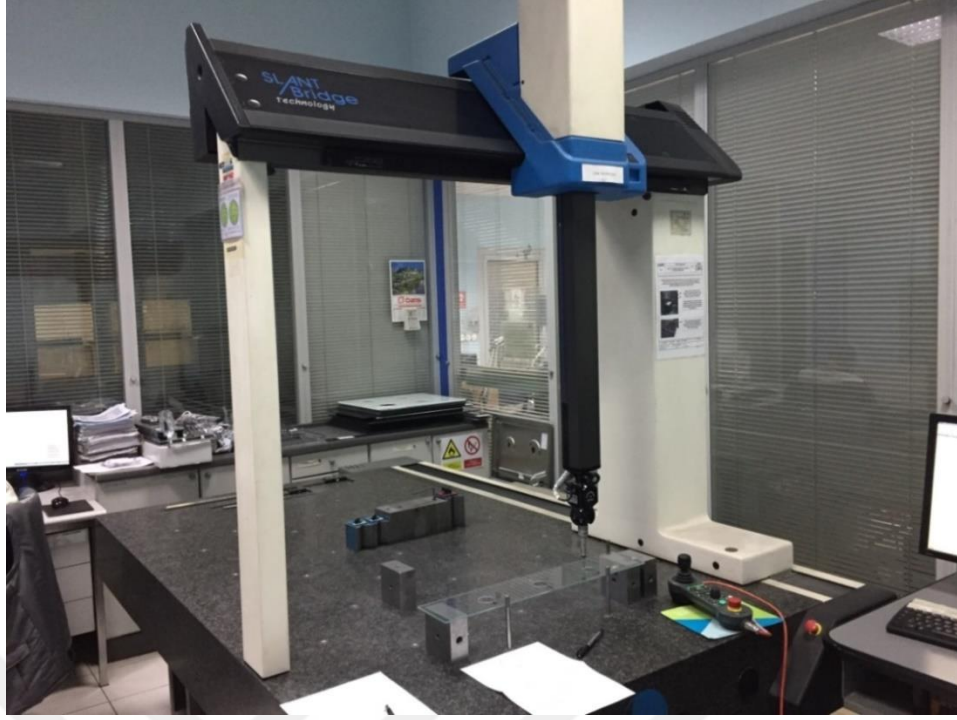


Şekil 5.6. Matkap resimleri.

5.2 Yöntem

5.2.1 DeneYlerin Yapılışı

Farklı çaplarda elmas kaplı matkaplarla delinen camlardaki aksenal kaçıklık miktarı Arçelik Pişirici ve Isıtıcı Cihazlar İşletmesi'nde üç boyutlu ölçüm cihazı olan dikey tip CMM cihazında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan camlardaki delik sayısına bağlı olarak toplam 25 adet deney yapılmıştır. Teknik olarak cam delme işlemi iki taraftan aynı çaptaki iki matkap ile yapılmaktadır. Bu sebepten dolayı deneylerde her iki taraftan delik çaplarına CMM cihazının mafsal kolu ucundaki prob ile temas gerçekleştirilmektedir (Şekil 5.8a). Her iki taraftaki ölçümlerde de prob uç delik yüzeyinin dört farklı kenarına temas ettirilmiştir. Deneylerde ideal ortam sıcaklığına uyulmuştur. CMM cihazında toplam 25 adet delik için iki taraflı ölçümler yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınarak her bir delik için bilgisayar ekranından 25 adet çıktı sonucu elde edilmiştir. Bu görsel sonuçlardan 2 tanesi verilmiştir (bkz. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2). Şekil 5.7'de CMM cihazının görüntüsü verilmiştir.

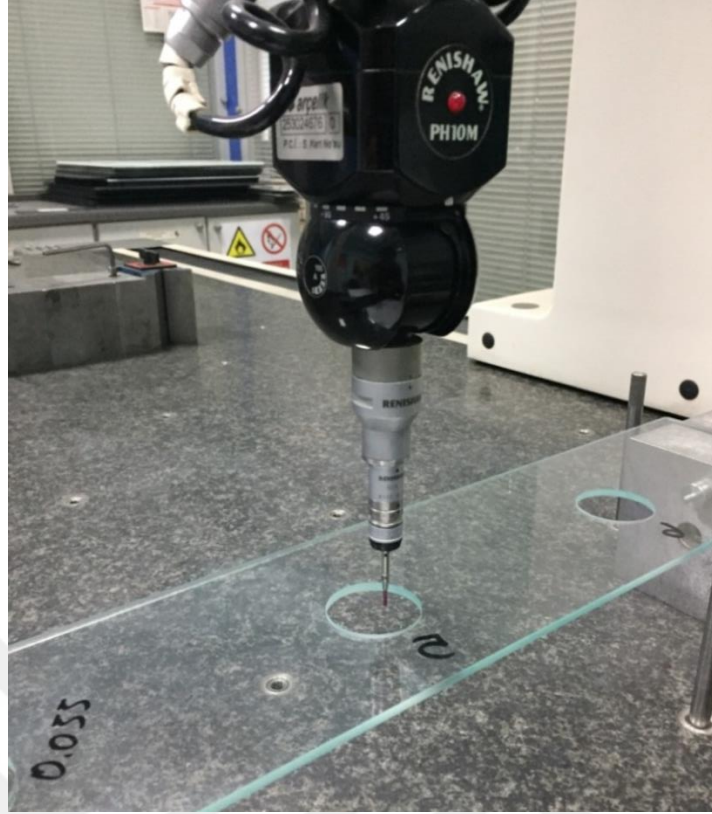


Şekil 5.7. CMM (Koordinat Ölçüm Makinesi).

Deliklerdeki aksenal kaçıklık değerleri üç boyutlu ölçüm cihazı (CMM) ile ölçülmüştür ve delik yüzeylerine teması düz cam için ayrı ayrı gösterilmiştir (Şekil 5.8a ve Şekil 5.8b).

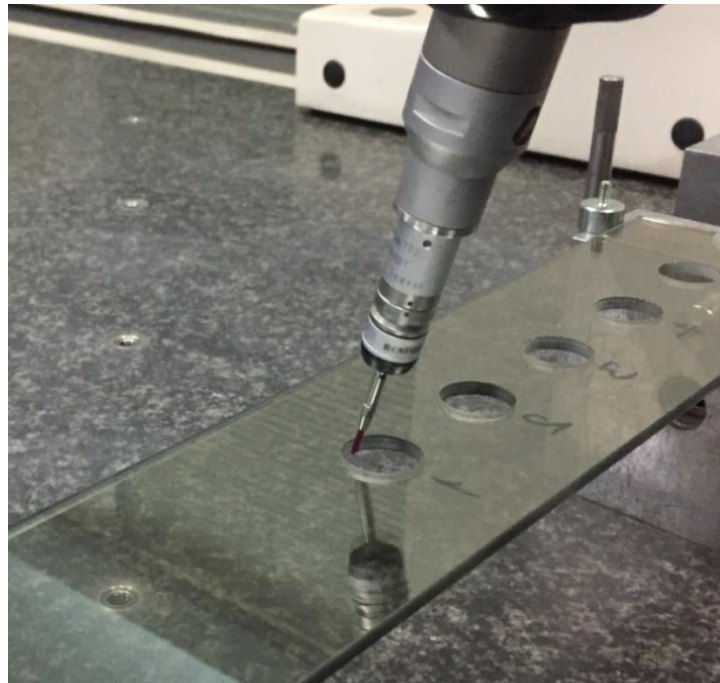


Şekil 5.8a. Prob ucun delik yüzeyine teması (Renishaw Ph10m).



Şekil 5.8b. Prob ucun delik yüzeyine teması (Renishaw Ph10m).

CMM cihazında aksenal kaçıklık değerleri ölçülmüş olup farklı bir cam türü olan bronz reflekte camı da ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir (Şekil 5.8c).



Şekil 5.8c. Prob ucun delik yüzeyine teması (Renishaw Ph10m).

5.2.2 Koordinat Ölçüm Makinesi (CMM)

Koordinat ölçüm makineleri, ölçülen bir parçanın koordinatlarını belirlemek için kullanılmaktadır. CMM cihazı adını İngilizce ifade olan “Coordinate Measurement Machines” kelimelerinin baş harflerinden alarak cihazın kısaltma ismi olmaktadır. Robotik bir kolu andıran mafsallı çeşidi bulunduğu gibi lazerli olan koordinat ölçüm makineleri de bulunmaktadır. Mafsal şeklinde kollu olan CMM ölçüm cihazları şu parçalardan oluşmaktadır; makinenin gövdesi, kontrol ünitesi, servo motorlar, elektronik cetveller, kızaklar, ölçüm yapan prob, hesaplama yapan bilgisayar ve yazılımı gibi çeşitli ana elemanlardan oluşmaktadır.

Cihazın kullanımını açıklayacak olursak; mafsal kolunun uç tarafındaki prob ile ölçülecek parçanın yüzeyine temas ettirmek suretiyle ölçüm yapılmaktadır. Prob ucun hareketlerinin kolaylıkla sağlanması için bir kumanda geliştirilmiştir. Temas işlemi gerçekleştiğinde cihaz ses vererek uyarı yapmaktadır. Daha sonra parçanın ölçülecek olan diğer yüzeylerine temas gerçekleştirilerek işleme devam edilir. Tabii buradaki temas işlemlerinin kontrolü elle sağlandığı için bir kumanda aracı geliştirilmiştir. Bu sayede cihaz hareketleri rahatlıkla yapılmaktadır.

Cihaz x, y ve z eksenlerinde karmaşık hareketler ile hatasız bir biçimde doğru koordinatları vermektedir. CMM cihazlarının nerelerde kullanılacağını söyleyecek olursak; ölçülmek istenen parçaların geometrik toleranslar dâhilinde yapılıp yapılmadığını kontrol etmek için kullanılır. Bilgisayar destekli tasarım ile yapılan parça üretimi süreçleri sonunda ölçü ve geometri karşılaştırması gibi durumlarda ve esasen mühendislik alanlarında kullanımı önemli bir yer tutmaktadır. İşletmelerin kalite kontrol odalarında koordinat ölçme cihazlarının rolü büyük önem taşımaktadır.

Bu kullanım özelliklerinden farklı olarak makinelerin montaj ve çeşitli hizalama işlemlerinde bu cihaz kullanılmaktadır (<http://teknikressamm.blogspot.com.tr/2015/03/cmm-koordinat-olcme-cihazlari-hakkinda-bilgi.html>).

Koordinat Ölçüm Makineleri (CMM), doğrulama odalarında veya laboratuvarlarda güvenilir olan araç gereçlerdir. Karmaşık parçaların ölçme yeteneğine sahip, güçlü hizmet noktası ile koordinat çıkarma ve nokta koordinatlarını

ayarlama özelliği sayesinde geometri değiştirme dahil olmak üzere daha fazla veri işleme özelliğine dayanmaktadır. CMM performans doğrulaması ISO veya diğer alakalı standartlar tarafından standart testlerle gerçekleştirilmektedir. Maksimum hatayı tahmin ederek, sıfır düzeltme ile sunmaktadır ve böylece ölçümü etkileyen herhangi bir ön yargı faktörünün daha önce düzeltilmesi beklenmiş olur. Koordinatlar uygun yerleştirme geometrisinin oluşturulduğu prob ile elde edilen ölçüm alanındaki noktalardır (Calvo vd., 2015).

ISO 10360-1 uluslararası standardı, üç boyutlu olan koordinat ölçme cihazı, yüzeylere temas için kullanılan ölçme probu ile hareket eden, iş parçası üzerinde uzaysal koordinatları belirleme yeteneğine sahip ölçme modeli olarak tanımlanmaktadır. Koordinat ölçme cihazlarının çalışma prensibi şöyledir; kontrolü yapılacak olan iş parçasının X-Y-Z eksenleri ile koordinat verilerinin toplanması ve eşleştirme esaslarına dayanmaktadır. İş parçasına ait nokta verilerinin toplanması ile daha önceden belirlenmiş olan imalat toleranslarının doğrulanması ve kullanılmakta olan bir iş parçasının deformasyon oranının belirlenmesi gibi birçok kontrol uygulamaları mümkün olabilmektedir.

Dikey tip olan CMM cihazında prob uç hareketli bir köprü tarafından dikey olarak ilerlemektedir. Ölçülecek olan bir parça köprünün altına bağlanır. Hareketli durumda olan köprü aracı ile prob parçasının koordinat verilerini toplamaktadır. Üretimin olduğu yerlerde ve ölçüm odalarında kullanılmakta olan bu tipteki cihazlar, dengeli yapıları ve yüksek derecede hassasiyetleri ile her zaman ön plana çıkmaktadır. Dikey şeklinde olan bu koordinat ölçüm cihazları kendi başlarına kullanıldıkları gibi üretim hatlarında da prosesin bir parçası olarak da kullanılırlar. (<http://www.kuark.org/2017/05/kalite-ve-surec-kontrolu-cmm-teknolojisi/>).

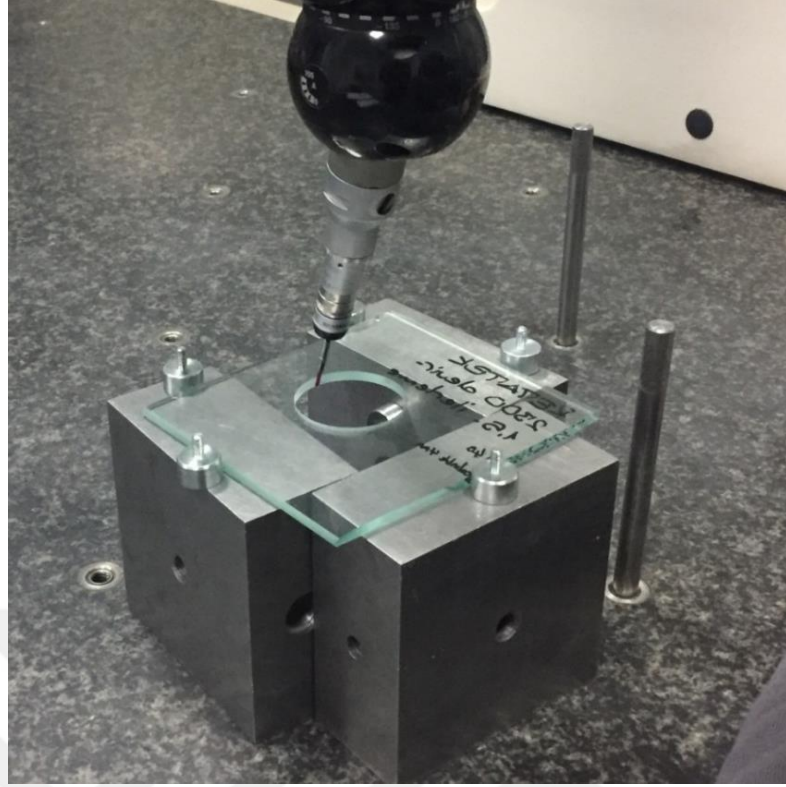
Günümüzdeki sanayi üretiminde, koordinat ölçüm makineleri (CMM) birçok işletme için denetim sürecinin yapı taşlarından biridir. CMM makineleri olmadan çizimlere dayalı olarak basit bir boyut ölçümü ile ilgili ölçüm parametrelerinin değerlendirilmesinin, bir parçanın konumunun ve konum sapmalarının değerlendirilmesi veya bir 3D modelinin belirli noktalarının ofseti gibi daha da karmaşık modellerin ölçümlerinden bahsedilmesini hayal etmek güç olacaktır.

Esas olarak 3D ölçüm makineleri (CMM), bir ölçme bilimi laboratuvarının kontrollü ortamında çalıştırılmak üzere tasarlanmış makinelerdir. ČSN 17025: 2005'te belirtildiği gibi, kontrollü ortam $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'lik bir sıcaklık ve 1°C 'lik bir sıcaklık gradyeni ile karakterize edilmektedir. Makinenin böyle bir kararlı ortam sıcaklığında metodolojik olarak doğru ölçümü yapması temel bir parametredir. Bu sebepten dolayı son yıllarda sıcaklık telafili CMM'ler geliştirilmiştir (Kubátová vd., 2017).

Deneylerde kullanılan CMM cihazı Dea Mistral 151009 MS 101 marka olan bir İtalyan makinasıdır. Makinanın yapım yılı 1997'dir. Cihazın ölçüm hassasiyeti $3,5 + 4L/1000$ 'dür. Makinanın X eksenindeki hareketi 1000 mm, Y ekseninde 660 mm ve Z ekseninde ise 460 mm'dir. Kullanılan probun türü Renishaw PH10M'dir. Prob açılı bir şekilde dönebilmektedir. Kalibrasyon topunun çapı (\emptyset) ise 30 mm'dir (<http://www.hggmbh.de/news/39/15/DEA-Mistral-151009>).

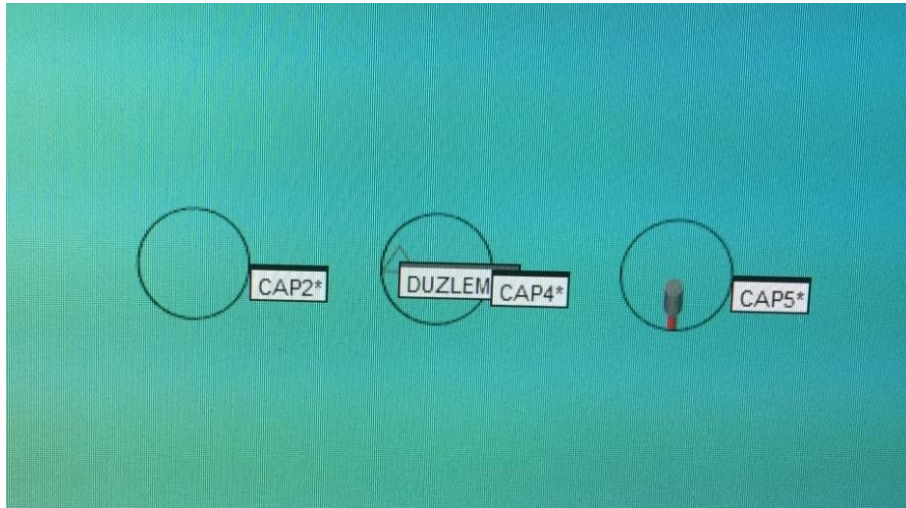
Kullanılan Renishaw PH10M prob uç özellikleri şunlardır; uzunlukları 117 mm, genişlikleri 62 mm ve ağırlıkları 620 g'dır. Prob elemanın montajı, çoklu montajdır. Kafa montajında ise CMM cihazına uygun PH10M kafası kullanılmaktadır. Pozisyonun tekrarlanabilir mesafesi 100 mm'de $0,4 \mu\text{m}$ ($0,00002$ inç) değerindedir. Toplam pozisyon sayısı 720'dir. Maksimum tork $0,45 \text{ N.m}$ değerindedir. Çalışma pozisyonuna göre ilave uzatma çubukları kullanılmaktadır. Renishaw PH10M prob Birleşik Krallık ürünüdür (<http://www.renishaw.com/en/ph10-plus-motorised-indexing-heads--6684>).

CMM cihazında sağlıklı ve iyi bir ölçümün gerçekleşmesi için cam malzemenin hareket etmemesi için mıknatıslı parçalar ile sabitlenmektedir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Cihazın mıknatıslı cam sabitleme aparatları.

Birden fazla delik ölçümlerinde delik kenarına temas prob uç ile gerçekleştirilmektedir. Prob ucun eksenlerdeki hareketleri bir bilgisayar ekranında gösterilmektedir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Prob ucun hareketini gösteren ekran.

5.2.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobunun İngilizce ifadesi; “Scanning Electron Microscope ” şeklindedir. Taramalı elektron mikroskopları; biyolojik alanlarda, adli tıp, anatomi, mikrobiyolojik alanlar, biyokimya, organların işlevlerini inceleyen alanlarda, zehirlerin belirlenmesi ile ilgili alanlarda, hastalıklar ile ilgili alanlarda, madde bilimi ve yeryüzü bilimleri gibi birçok alandan temin edilen örnekleri 100 bin kez büyütme ile yüzeylerin yapılarını görüntüleyerek yüzeylerde ortaya çıkan farklı durumlar değerlendirilmektedir. Üç boyutlu bir şekilde hayali olan bir görsel sonuç oluşturulmaktadır (Kapakin, 2006).

Ticari anlamda ilk olarak taramalı elektron mikroskobu 1965 yılında piyasaya çıkarıldıktan sonra hızlı bir şekilde geliştirilerek, bugünkü modern tarama elektron mikroskoplarının ayırım gücü 35 keV uyarma gerilimindeki ikincil bir elektron görüntüsü için 40A° - 50A° değerine kadar düşürülmüştür. Bu mikroskopların büyütme miktarları 300.000-500.000 X arasında bir değerde değişim göstermektedir.

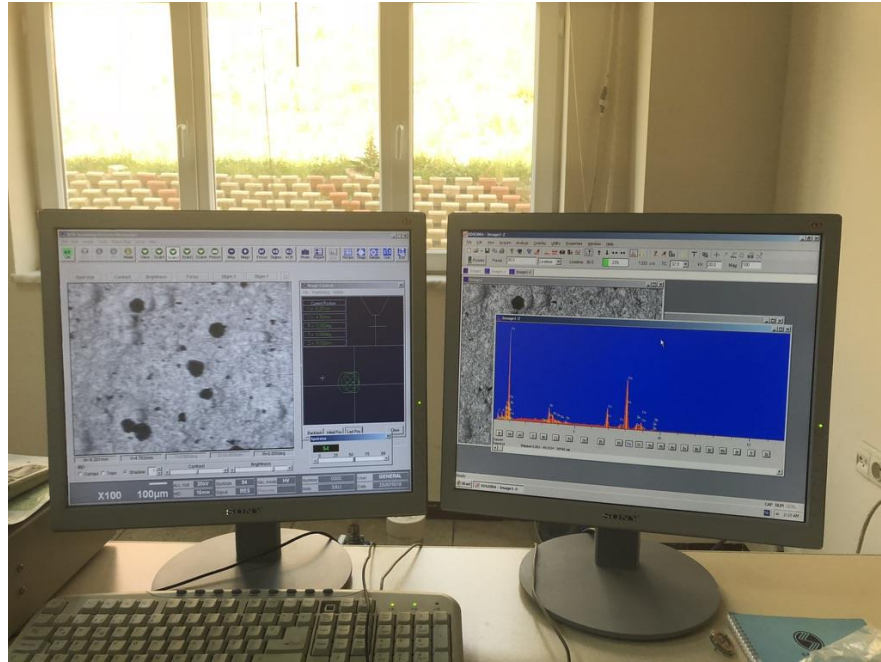
Taramalı elektron mikroskopunun genel olarak dizaynı, üç ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler; mikroskopun optik kolu, numune odacığı ve mikroskopun elektronik donanımıdır. Mikroskopun optik kolu içinde; elektron kaynaklı tabanca, elektronları numuneye doğru hızlı bir şekilde hareketi için yüksek bir gerilimin uygulandığı anot plakası, demeti toplamak ve yönlendirmekte kullanılmakta olan kondansör ve objektif olan mercekleri, numune yüzeyini taramak için uygun tarama bobinleri bulunmaktadır.

Numune odacığı içinde; üç boyutta hareket kabiliyeti olan numune kızığı, demet ve numune etkileşimi sonucu oluşan sinyal algılayıcılardan oluşmaktadır. Mikroskopun elektronik donanımında ise; flaman akımı, mercek akımı ve uyarma gerilimlerine kararlı bir şekilde kontrol ederek demet numune etkileşimi sonucu ortaya çıkan sinyalleri algılamak ve algılayıcılardan gelecek olan sinyalleri işleyerek numunenin farklı özelliklerini yansıtma yöntemi ile görüntülerin oluşumunu sağlamaktadır (Erdin, 1986).



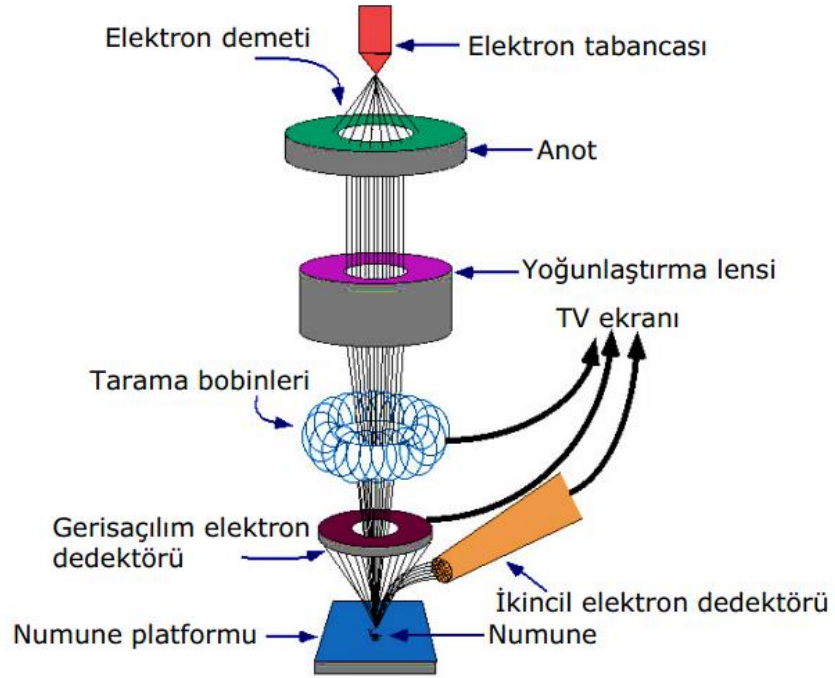
Şekil 5.11. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu).

Şekil 5.11’de taramalı elektron mikroskobunun görüntüsü verilmiştir. SEM cihazından elde edilen sonuçlar belirli boyutlarda büyütülerek numune üzerindeki görüntü elde edilmiş olur. Ayrıca numunenin kimyasal analizi de gösterilmektedir (Şekil 5.12).



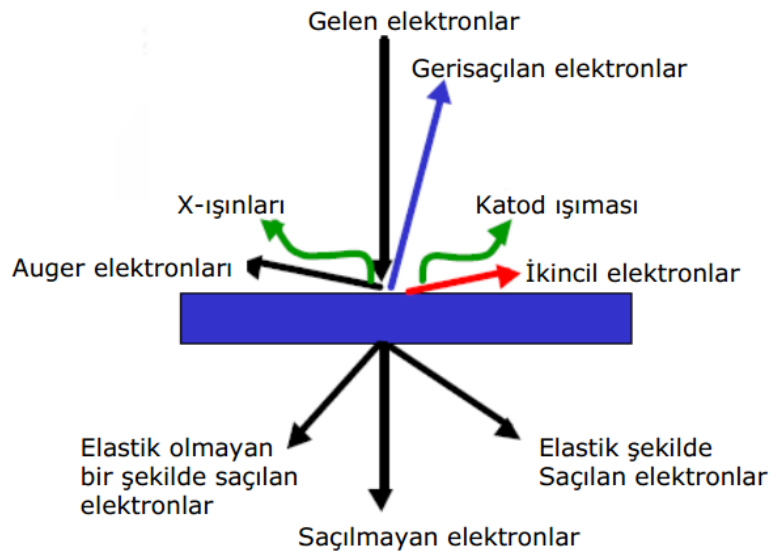
Şekil 5.12. SEM cihazı sonuç ekranı.

Taramalı elektron mikroskobunun sırası ile çalışma prensibi ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. Taramalı elektron mikroskobunun şematik görünümü (<https://www.slideshare.net/iuslu/taramal-elektron-mikroskobu>).

SEM cihazının elektron demeti ile etkileşimi ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Elektron demeti ile numune etkileşimi (<https://www.slideshare.net/iuslu/taramal-elektron-mikroskobu>).

SEM görüntüleri JEOL JSM-6060 LV cihazında yapılmıştır. Taramalı elektron mikroskopunun bütünüyle dijital bir cihaz olduğu bilinmektedir ve bilgisayar kontrollü olan bir çalışma prensibine dayanmaktadır.

Cihazın teknik özellikleri; elektronların kaynağına bakıldığında K şeklinde olan tungsten iletken teli kullanılmaktadır. 5 eksen olarak motorize bir şekilde kartezyen kontrollü olarak çalışmaktadır. Eksen hareketlerine baktığımızda ise; X=20 mm, Y=10 mm, Z=40 mm, eğim=-10° ve 90° ve dönme=360° şeklinde bir çalışmaya sahiptir. 30 kilovolt olan hızlandırıcı voltajında ve 8 mm çalışma aralığının da 3,5 nm çözünürlük ortaya çıkmaktadır. SEM cihazında 0,5 kilovolt ile 30 kilovolt arasında bir hızlandırıcı voltaj uygulanabilmektedir.

8x ila 300.000x aralığında bir yakınlaştırma kapasitesine sahip bir cihazdır. Cihazın çalışma aralığının ise 48 mm ve hızlandırma voltajı da 10 kilovolt olması halinde 5x büyütmesine kadar düşme uygulanabilmektedir.

Üç ayrı numune tutucuyu açıklayacak olursak şöyledir;

- 10 mm çapında olan bir parçanın yerleştirildiği 5 veya 10 mm yüksekliğinde olan pirinç tablalarının sabitleme yapıldığı tekli bir tutucu,
- Aynı ölçülerde olan tablolardan dört adet parçanın beraber işlem yapmasına olanak sağlayabilen dörtlü bir tutucu,
- 32 mm çapında olan bir parçanın yerleştirildiği 5 veya 10 mm yüksekliğindeki pirinç tablaların yerleştirildiği tekli bir tutucu,

şeklinde üç tip numune tutucu vardır (<http://biyoloji.gazi.edu.tr/posts/view/title/sem-ozellikleri-31125>).

Ayrıyeten taramalı elektron mikroskopuna bağlı olarak çalışan, numunelerin element analizleri yapılabilmektedir. Enerji dağılım spektroskopisi ile nokta element analizleri yapılmaktadır. İngilizce ifadesi ile 'Energy Dispersive Spectroscopy'dir (Apay ve Gülenç, 2013). Bu element analizleri yöntemi ile materyallerin hangi elementlerden, yüzde olarak ne kadar içerdikleri hakkında bilgi sahibi olunmaktadır (Ergün ve Yenisey, 2006).

5.2.4 Varyans (ANOVA) Analizi

Varyans analizinde mukayesesi gerçekleştirilecek olan grupların arasındaki değişkenliğin belirlenmesinde ve grupların sayılarının ikiden daha fazla olması halinde kullanılmakta olan istatistiksel yöntemlerden birisi varyans analizidir. Varyans analizinin kısaltması olan ANOVA ifadesinin İngilizce ifadesi 'Analysis of Variance' şeklindedir. Fakat varyans analizinin yapılması için bazı varsayımlar icap etmektedir. Buradaki bütün varsayımların homojen olma, normal olma ve toplanabilme gibi parametrik unsurlar vardır (Kayri, 2009).

Regresyon analizi yöntemi; birinci nesil bir istatistiksel yöntemdir. Bu analiz yöntemi ile bağımlı ve bağımsız değişkenlerin arasındaki fonksiyonel ilişkileri matematiksel modelleyerek karmaşık durumda olan bir araştırma problemini tek bir proses olarak, sistematik ve kapsamlı bir biçimde incelemeyi sağlayarak bizi çözüme götürmektedir. Temel olarak baktığımızda bağımlı olan değişkenin ne kadarlık bölümünün bağımsız olan değişkenler ile açıklandığı söyleyen birinci nesil bir analiz yöntemidir (Dursun ve Kocagöz, 2010).

Mühendislikte yapılmakta olan çoğu bilimsel çalışmalarda istatistiksel yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda elde edilen sonuçların güvenilir olması, geçerli olması ve doğru yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Regresyon analizinde mühendislik çalışmalarının çoğunda kullanılan önemli istatistiksel yöntemlerden biridir (Yavuz ve Aşık, 2017).

Regresyon analizinin temeli Francis Galton tarafından 19. Yüzyılın sonlarında ortaya atılmıştır. Bu kişi anne ve babaların boyu ile çocuklarının boyları arasındaki ilişkiyi inceleyerek kısa boylu ebeveynlerin çocuklarının boylarının kısa olduğu ve uzun olan ebeveynlerin çocuklarının boylarının uzun olmasına karşılık çocukların boy ortalamasının doğru yaklaşma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Buradaki eğilim ortaya doğru çekilme (Regression to mediocrity) olarak adlandırılmaktadır. Galton'un yaptığı bu çalışmalar istatistiksel olarak incelenerek regresyon analizinin başlangıcı haline gelmiştir (Tezcan, 2011).

5.2.5 Monte Carlo Yöntemi

Monte Carlo yöntemi istatistiksel ve deneysel problemlerin çözümünde girdi değişkenindeki rastgele sayılar yaklaşımı ile çıktı değişkenini belirleme yaklaşımı şeklinde açıklanmaktadır. Monte Carlo yöntemi karmaşıklık derecesi ne zorlukta olursa olsun stokastik süreçlerin incelenmesi metodudur (Sakarya ve Yıldırım, 2017). Tarihte ikinci dünya savaşı zamanında atom bombasının geliştirilmesi sırasında ortaya çıkan problemlere karşı uygulanan Monte Carlo yöntemi günümüzde analitik olarak çözülmesi zor olan problemler karşısında yaygın bir şekilde kullanılmaya devam etmektedir.

Monte Carlo yöntemine genel olarak bakıldığında zamanın önemsiz olduğu deterministik veya olasılık ihtimali olan problemlerin çözümünde 0-1 aralığındaki rastgele değişkenleri kullanarak bir sonuca varmayı sağlayan yöntem olarak bilinmektedir. Bu yöntem statik bir yapıya sahiptir. Belirsizliğin fazla olduğu karmaşık durumlarda karar vermek oldukça zor bir hâl almaktadır. Bu zorluğu aşabilmek için karşılaşılan belirsizliği modelleyebilecek benzetim tekniğinden yararlanılmaktadır. Monte Carlo benzetimi bu türdeki problemlerde kullanılan önemli bir yöntemdir (Alabaş ve Baykoç, 2001).

Monte Carlo yöntemi diğer bir ifadeyle rastgele örneklemeleri kullanarak matematik problemlerini çözebilen nümerik bir yöntemdir. Yaygın olan bu çözüm yöntemi bilgisayarların ortaya çıkması ile gelişmekte olup yeni bilgisayarlarında gelişimi ile kullanım alanı artmaktadır. Monte Carlo yöntemi gerçek çözümlerinde çok yararlı bir yöntemdir. Monte Carlo analizi yöntemi bilgisayarlı sistemlerde kullanıldığında daha kısa zamanlarda sonuçlar vermektedir. Fakat maliyet açısından değişim göstermektedir (Çavuş ve Yanıkoğlu, 2003).

Monte Carlo tekniği ismini 1940'lı yılların sonunda Von Neumann ve Stanislaw Ulam bilim adamları tarafından almıştır. İlk uygulamalarını nötron yayılımı problemlerinde yapmışlardır. Monte Carlo tekniği, özel olarak bir denemede veya bir simülasyon çalışmasında birden fazla olasılık dağılımından rastgele sayılar seçerek sonuca ulaşmayı hedefleyen bir teknik olarak bilinmektedir. Monte Carlo yöntemi, 1930'lu yıllardan sonra hızlı bir şekilde gelişmeye başlamış bir

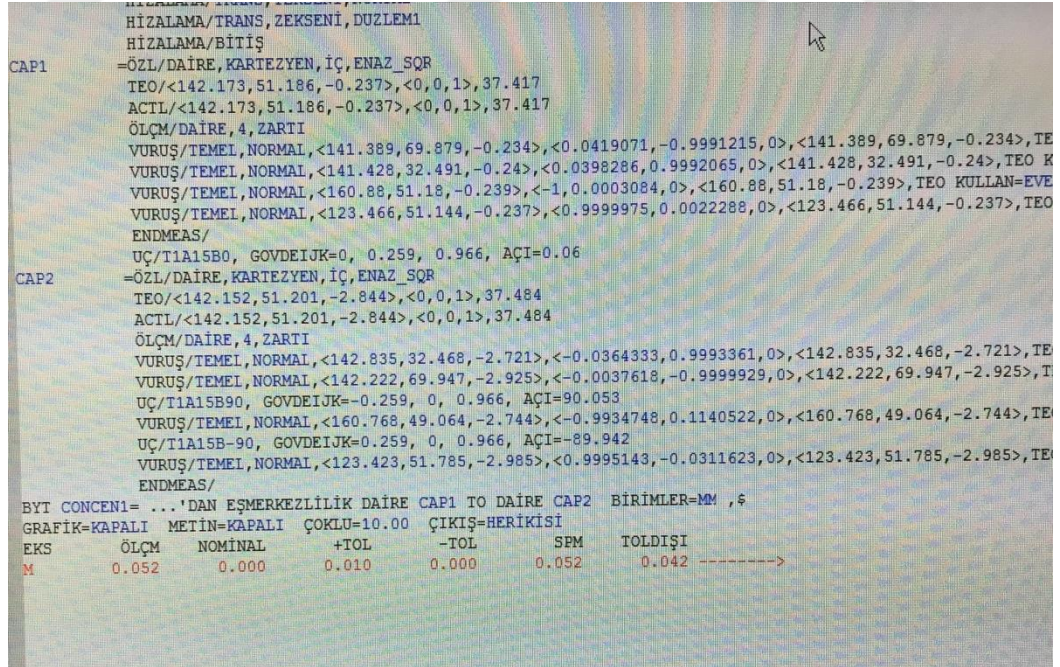
tekniktir. Los Alamos laboratuvarlarında nükleer silahların geliştirilmesindeki projelerde çalışan bilim adamları tarafından ilk kez ortaya çıkmıştır (Hançerlioğulları, 2006). Monte Carlo metodu Nicholas Constantine Metropolis tarafından bulunmuştur ve Stanislaw Ulam tarafından yaygınlaştırılmıştır. Bu yöntem ile istatistiksel simülasyonlar yapılmaktadır (Gültekin ve Asyalı, 2007).



6. ELDE EDİLEN DENEYSSEL SONUÇLAR

Elde edilen deneysel sonuçlar her bir delik için ayrı ayrı ölçülmüş olup toplamda 25 adet farklı aksel kaçıklık sonuçları elde edilmiştir. Deneyleerin yapıldığı cihazlardan birincisi olan üç boyutlu ölçüm cihazı (CMM) ile aksel olarak meydana gelen kaçıklık miktarı belirlenmiş olup, ikinci bir cihaz olan taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile de matkap malzemesinde meydana gelen değişiklik incelenmiştir.

Deneyleerin yapıldığı makineler önceki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Deneysel çalışmalarda farklı matkap çapları kullanılmıştır. Numunelere belirli devir (dev/dak) ve ilerlemelerde (mm/s) delme işlemi uygulanmıştır. Optimizasyon için Varyans Analizi (ANOVA) ve Monte Carlo simülasyon yöntemi kullanılmıştır. CMM cihazından çıkan aksel kaçıklık sonuçlarından 2 tanesi verilmiştir (Şekil 6.1 ve Şekil 6.2).



```
HIZALAMA/TRANS, ZEKSENI, DUZLEMI
HIZALAMA/BITIŞ
CAP1
=ÖZL/DAİRE, KARTEZYEN, İÇ, ENAZ_SQR
TEO/<142.173, 51.186, -0.237>, <0, 0, 1>, 37.417
ACTL/<142.173, 51.186, -0.237>, <0, 0, 1>, 37.417
ÖLÇM/DAİRE, 4, ZARTI
VURUŞ/TEMEL, NORMAL, <141.389, 69.879, -0.234>, <0.0419071, -0.9991215, 0>, <141.389, 69.879, -0.234>, TE
VURUŞ/TEMEL, NORMAL, <141.428, 32.491, -0.24>, <0.0398286, 0.9992065, 0>, <141.428, 32.491, -0.24>, TEO K
VURUŞ/TEMEL, NORMAL, <160.88, 51.18, -0.239>, <-1, 0.0003084, 0>, <160.88, 51.18, -0.239>, TEO KULLAN-EVE
VURUŞ/TEMEL, NORMAL, <123.466, 51.144, -0.237>, <0.9999975, 0.0022288, 0>, <123.466, 51.144, -0.237>, TEO
ENDMEAS/
UÇ/T1A15B0, GOVDEIJK=0, 0.259, 0.966, AÇI=0.06
CAP2
=ÖZL/DAİRE, KARTEZYEN, İÇ, ENAZ_SQR
TEO/<142.152, 51.201, -2.844>, <0, 0, 1>, 37.484
ACTL/<142.152, 51.201, -2.844>, <0, 0, 1>, 37.484
ÖLÇM/DAİRE, 4, ZARTI
VURUŞ/TEMEL, NORMAL, <142.835, 32.468, -2.721>, <-0.0364333, 0.9993361, 0>, <142.835, 32.468, -2.721>, TE
VURUŞ/TEMEL, NORMAL, <142.222, 69.947, -2.925>, <-0.0037618, -0.9999929, 0>, <142.222, 69.947, -2.925>, T
UÇ/T1A15B90, GOVDEIJK=-0.259, 0, 0.966, AÇI=90.053
VURUŞ/TEMEL, NORMAL, <160.768, 49.064, -2.744>, <-0.9934748, 0.1140522, 0>, <160.768, 49.064, -2.744>, TE
UÇ/T1A15B-90, GOVDEIJK=0.259, 0, 0.966, AÇI=-89.942
VURUŞ/TEMEL, NORMAL, <123.423, 51.785, -2.985>, <0.9995143, -0.0311623, 0>, <123.423, 51.785, -2.985>, TE
ENDMEAS/
BYT CONCEN1= ... 'DAN EŞMERKEZLİLİK DAİRE CAP1 TO DAİRE CAP2 BİRİMLER=MM, $
GRAFİK=KAPALI METİN=KAPALI ÇOKLU=10.00 ÇIKIŞ=HERİKİSİ
EKS ÖLÇM NÖMİNAL +TOL -TOL SEM TOLDIŞI
M 0.052 0.000 0.010 0.000 0.052 0.042 ----->
```

Şekil 6.1. Düz cam için Ø37,4 mm matkap takımı kullanılarak 2500 dev/dak ve 1,5 mm/s ilerlemede ortaya çıkan SPM aksel kaçıklık sonucu.

Şekil 6.2’de CMM cihazından elde edilen aksel kaçıklık sonucu verilmiştir. Bu cihazın çalışma prensibi anlatılmıştır. Delik kenarlarının alt ve üst yüzeylerine temas ile iki farklı çap sonucunu bularak birbirlerinden çıkarılması ile aksel kaçıklık sonucu çıkmaktadır.

```

CAP5 =ÖZL/DAİRE,KARTEZYEN,İÇ,ENAZ_SQR
TEO/<451.847,51.031,-0.401>,<0,0,1>,37.416
ACTL/<451.847,51.031,-0.401>,<0,0,1>,37.416
ÖLÇM/DAİRE,4,ZARTI
VURUŞ/TEMEL,NORMAL,<450.866,69.717,-0.397>,<0.0523957,-0.9986264,0>,<450.866,69.717,-0.397>,<0.0503455,0.9987319,0>,<450.905,32.344,-0.404>,<-0.9999903,-0.0044072,0>,<470.551,51.114,-0.402>,<0.999997,-0.0024338,0>,<433.143,51.077,-0.4>,<0.999997,-0.0024338,0>,<433.143,51.077,-0.4>
ENDMEAS/
UÇ/T1A15B0,GOVDEIJK=0,0.259,0.966,AÇI=0.06
CAP6 =ÖZL/DAİRE,KARTEZYEN,İÇ,ENAZ_SQR
TEO/<451.813,51.04,-3.051>,<0,0,1>,37.489
ACTL/<451.813,51.04,-3.051>,<0,0,1>,37.489
ÖLÇM/DAİRE,4,ZARTI
VURUŞ/TEMEL,NORMAL,<450.912,32.323,-3.044>,<0.048072,0.9988439,0>,<450.912,32.323,-3.044>,<0.048072,0.9988439,0>,<450.825,69.753,-2.837>,<0.0527304,-0.9986088,0>,<450.825,69.753,-2.837>,<0.0527304,-0.9986088,0>,<470.561,50.747,-2.988>,<-0.9998781,0.015614,0>,<470.561,50.747,-2.988>,<-0.9998781,0.015614,0>
UÇ/T1A15B-90,GOVDEIJK=0.259,0,0.966,AÇI=-89.942
VURUŞ/TEMEL,NORMAL,<433.065,50.693,-3.333>,<0.9998284,0.0185252,0>,<433.065,50.693,-3.333>,<0.9998284,0.0185252,0>
ENDMEAS/
BYT CONCEN3=...DAN EŞMERKEZLİLİK DAİRE CAP5 TO DAİRE CAP6 BİRİMLER=MM,Ş
GRAFİK=KAPALI METİN=KAPALI ÇOKLU=10.00 ÇIKIŞ=HERİKİSİ
EKS      ÖLÇM      NOMİNAL      +TOL      -TOL      SPM      TOLDIŞI
M        0.071      0.000      0.010      0.000      0.071      0.061 ----->

```

Şekil 6.2. Düz cam için Ø37,4 mm matkap takımı kullanılarak 2000 dev/dak ve 1,65 mm/s ilerlemede ortaya çıkan SPM aksel kaçıklık sonucu.

Tablo 6.1. Retatek makinası Ø18,3 mm matkap takımı için sonuçlar

Makina Retatek CDH 6060 (Matkap Çapı = Ø 18,3 mm)				
Deney Numarası	Cam Kalınlığı (mm)	Devir (dev/dak)	İlerleme Değeri (mm/s)	Eksenel Kaçıklık Değeri (mm)
1	4	3200	2,5	0,119
2	4	3200	2,75	0,129
3	4	3200	3	0,145
4	4	3450	2,5	0,103
5	4	3450	2,75	0,117
6	4	3450	3	0,134
7	4	3700	2,5	0,091
8	4	3700	2,75	0,108
9	4	3700	3	0,123

Tablo 6.1’de Ø18,3 mm matkap çapı için cam kalınlığı, devir, ilerleme ve aksenal kaçıklığı sonuçları verilmiştir. Deney numuneleri Retatek CDH 6060 tipinde bir makineden elde edilmiştir.

Tablo 6.2. Retatek makinası Ø37,4 mm matkap takımı için sonuçlar

Makina Retatek CDH 6060 (Matkap Çapı = Ø 37,4 mm)				
Deney Numarası	Cam Kalınlığı (mm)	Devir (dev/dak)	İlerleme Değeri (mm/s)	Eksenel Kaçıklık Değeri (mm)
1	4	2000	1,5	0,060
2	4	2000	1,65	0,071
3	4	2000	1,8	0,082
4	4	2500	1,5	0,052
5	4	2500	1,65	0,061
6	4	2500	1,8	0,077
7	4	3000	1,5	0,048
8	4	3000	1,65	0,058
9	4	3000	1,8	0,069

Tablo 6.2’de Ø37,4 mm matkap çapı için devir, cam kalınlığı, ilerleme ve aksenal kaçıklık değerleri verilmektedir.

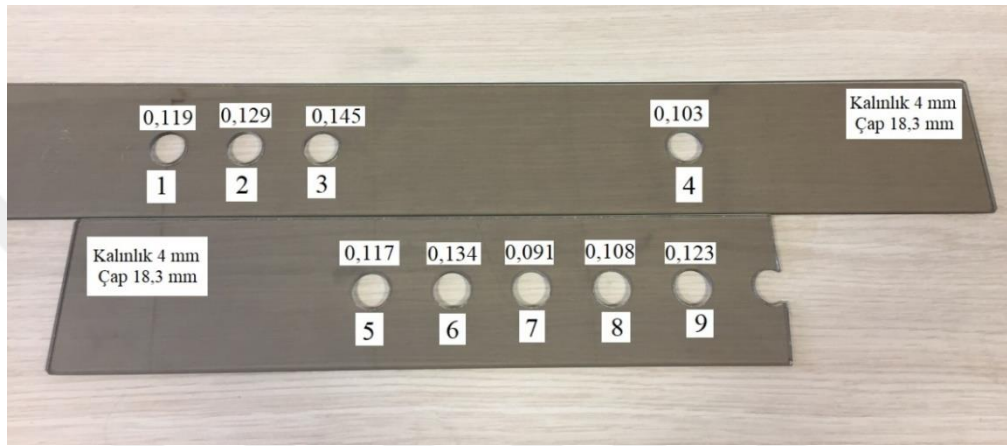
Tablo 6.3. Retatek-Glassline-Taiwan makinaları farklı matkap çapları için elde edilen sonuçlar

Retatek-Glassline-Taiwan Makinaları (Matkap Çapları = Ø (6-40) mm)					
Deney Numarası	Cam Kalınlığı (mm)	Çap Değerleri (Ø)	Devir (dev/dak)	İlerleme Değeri (mm/s)	Eksenel Kaçıklık Değeri (mm)
1	4	38	2300	1,5	0,096
2	4	40	2300	1,5	0,092
3	4	9	3000	2,4	0,104
4	4	20	3100	1,4	0,116
5	6	25	3200	2,5	0,124
6	4	17	3500	2,8	0,145
7	4	6	4000	3	0,132

Tablo 6.3’de farklı matkap çapları için devir, ilerleme, cam kalınlığı ve aksenal kaçıklık değerleri gösterilmiştir. Elde edilen numunelerden farklı olarak bazı makinalardan farklı matkap çapları ile delinmiş olan numuneler alınmıştır.

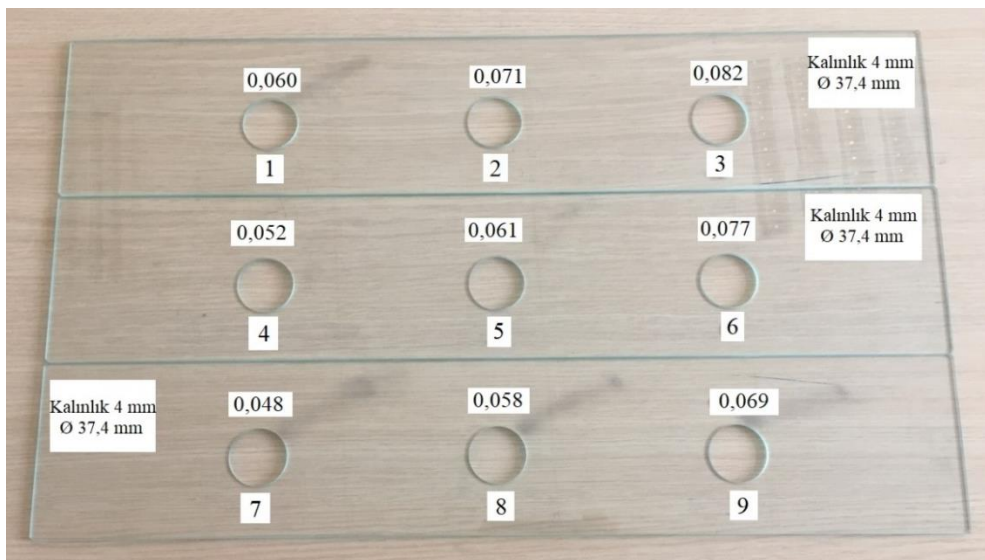
Retatek makinasından alınan numenelerin matkap çapları; $\text{Ø}6$ mm, $\text{Ø}17$ mm, $\text{Ø}38$ mm ve $\text{Ø}40$ mm'tir. Glassline makinasından; $\text{Ø}9$ mm ve $\text{Ø}25$ mm'tir. Son olarak Taiwan makinasından $\text{Ø}20$ mm matkap takımı ile delinmiş cam numuneler alınmıştır.

Şekil 6.3'de bronz reflekte camı $\text{Ø}18,3$ mm matkap takımı ile delinmiştir. Elde edilen deney sonuçları ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 6.3. Bronz reflekte camı için $\text{Ø}18,3$ mm matkap takımı kullanılarak elde edilen deney sonuçları.

Şekil 6.4'de düz cam, $\text{Ø}37,4$ mm matkap takımı ile delinmiştir ve elde edilen deney sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Düz camlar için $\text{Ø}37,4$ mm matkap takımı kullanılarak elde edilen deney sonuçları.

Şekil 6.5'te elde edilen deneylerden farklı olarak Retatek, Glassline ve Taiwan makinalarından düz camlar alınmıştır. Farklı matkap çapları, devir (dev/dak) ve ilerlemelerde (mm/s) delme işlemi uygulanmış olan numuneler ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir. Elde edilen deney numunelerinden hariç farklı çaplarda delinmiş cam numunelerine de incelenmiştir. Burada önemli olan daha fazla numunenin incelenmesini sağlamaktır.



Şekil 6.5. Düz cam için farklı matkap çapları kullanılarak elde edilen deney sonuçları.

6.1 İstatistiksel Analiz ve Optimizasyon

İstatistik; verilerin toplanması, düzenlenmesi ve uygun yöntemlerle analiz edilmesidir. Diğer bir ifade ile sayısal değerlerin toplanarak analiz edildiği bilimsel bir yöntem veya metotlar toplamıdır. Yapılan çalışmalarda deneylerden elde edilen verilerin analizleri için pratik olarak fazlaca kullanılmakta olan ve bu pratikliğe uygun olarak istatistiksel bir varsayım olan varyans analizinin kullanılması tercih edilmiştir. Varyans analizinin diğer bir ismi ANOVA'dır. İngilizce ifadesi analysis of variance olarak bilinmektedir. Kullanılan bu analiz yöntemi bağımsız olan değişkenleri kendi içerisinde ne şekilde etkileşimlere girdiklerini, ortaya çıkan etkileşimlerin bağımlı değişkenlerin üzerinde olan tesirlerini araştırmaktadır. Özel olarak bağımsız olan değişkenlerin sayıları fazla ise varyans analizi metodu tercih edilmektedir.

Bu analiz yöntemi sık bir şekilde kullanılmaktadır. İşte bu yöntemin kullanılması ile temel kütle ortalamaları arasında bir fark değişkeninin var olup olmadığı tespit edilmektedir. Bu metot ile hali hazırda bulunan parametrelerin temel veya sonuç değişkenlerinin üzerine olan tesirlerini yüzde olarak tanımlayabiliriz. Bu değişkene sahip en büyük parametre belirlenmiş olmaktadır. Bu durumlardan farklı olarak ortaya çıkan deney sonuçlarının istatistiksel olarak testleri yapılırsa, analizin güvenli olup olmadığı test edilmiş olur. Aynı zamanda deneylerin geçerliliği tartışılabilir. Regresyon analizine baktığımızda ise neden sonuç ilişkileri olan birden fazla parametrenin değişkenler arasındaki ilişkileri matematiksel olarak ifade edebilmek için uygulaması yapılan bir istatistiksel analiz yöntemidir.

Bu analiz yöntemi sayesinde tahminler ve yorumlar yapılabilmektedir. En mükemmel eğriyi ortaya çıkarabilmek için genel olarak çok küçük olan kareler metoduna başvurulmaktadır. Monte Carlo simülasyonu yöntemi ise rastgele sayılar arasından denemeler yaparak belirli bir sonuca varmayı amaçlayan bir deneysel analiz metodudur. Bu analiz yöntemi ile matematiksel çözümler uygulanabilir. Bu metot bir algoritma ortaya çıkarmaktadır. Bu sayede kesin olarak çözümlerin çok zor olduğu problemlerin karşısında bize tahmini çözümler sunmaktadır. Diğer bir ifade ile yöntem olasılık teorisi üzerine kurulu bir sistemdir. Deneyler yapılırken tesadüf olan sayılar kullanılarak simülasyon gerçekleştirilmektedir.

Bu işlemler defalarca yapıldığından istatistiksel programlar kullanılmaktadır. Zamanlama açısından olasılık problemlerinin çözümünde bu program fazlaca kullanılan bir simülasyon metodudur. Bu analiz yöntemi ile kullanılan değişkenlerin olasılık dağılımları ile modellenmesi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem ile bütün olasılık sonuçları görülmektedir. Ortaya çıkabilecek riskler değerlendirilmektedir ve daha iyi kararlar verilebilmektedir. Bu analiz yöntemi ile sadece bir değer yerine değil, fazlaca değere göre ortaya nasıl bir dağılım çıkacağını göstermektedir. Ortaya çıkan verilerin hangi aralıklarda değişkenlik gösterdiği belirlenmektedir. Olasılık dağılımları, analizler yapılırken belirsiz durumları çözüme ulaştıran bir yöntem olarak bilinmektedir. Monte Carlo yönteminde parametreler rastgele seçilmektedir.

Elde edilen verilerin sonuçları ve olasılık durumları grafiksel bir şekilde gösterilebilmektedir. Girdilerin hangisinin çok fazla tesire sahip olduğu belirlenebilmektedir. Değişkenlerin aralarında bağımlılıklar tanımlanabilmektedir. Bu analiz yöntemi ile üretilmesi zor olan veya çözümü imkânsıza yakın olan dağılımların deneysel olarak elde edilmesini sağlayan bir yöntem olarak bilinmektedir. Simülasyon yöntemine başlamak için önce modelleme yapmak gerekmektedir. Tez çalışmasında ANOVA analiz yöntemi ve Monte Carlo simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen grafiksel ve matematiksel sonuçlar şekil ve çizelge yardımı ile ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır.

Tablo 6.4. Ø18,3 mm matkap takımı için varyans analizi

	Katsayı		Standart	95% CI	95% CI	
Faktör	Tahmin	df	Hata	Düşük	Yüksek	VIF
Sınırlar	0,12	1	6,003E-004	0,11	0,12	
A-Takım dönme hızı	-0,012	1	5,902E-004	-0,013	-0,010	1,00
B-İlerleme miktarı	0,015	1	5,902E-004	0,013	0,016	1,00
AB	1,500E-003	1	7,229E-004	-2,094E-004	3,209E-003	1,00
A ²	1,672E-003	1	8,700E-004	-3,847E-004	3,730E-003	1,17
B ²	1,672E-003	1	8,700E-004	-3,847E-004	3,730E-003	1,17

Tablo 6.4'te ANOVA (analysis of variance) analizi sonucu elde edilen değerler verilmiştir. Çizelgede takımın dönme hızı ve ilerleme miktarı değişkenlikleri verilmiştir. Bu çizelgede önemli olan VIF (varyans enflasyon faktörü)

değerleridir. Bu değer bize açıklayıcı değişkenler arasında bir korelasyon olup olmadığını göstermektedir. Varyans enflasyon faktörünün 10 değerinin altında ve 0,2'nin üzerinde olması yapılan analizlerin sorunsuz olduğuna işarettir. Varyans dağılımındaki bütün parametrik verilerin aritmetik ortalaması ile farklarının toplanması ile çıkan sonucun verilerin sayısına bölünmesi elde edilmektedir. Standart sapmanın karesini aldığımızda ise bize varyansını vermektedir. Bu analiz %95 güven aralığında çözümlene yapılarak elde edilmiştir.

Ø18,3 mm matkap için eksenel kaçıklık matematiksel modeli

Eksenel kaçıklık =

$$+0,86507$$

$$-2,97968E-004 * \text{Takım dönme hızı}$$

$$-0,17064 * \text{İlerleme miktarı}$$

$$+2,40000E-005 * \text{Takım dönme hızı} * \text{İlerleme miktarı}$$

$$+2,67586E-008 * \text{Takım dönme hızı}^2$$

$$+0,026759 * \text{İlerleme miktarı}^2$$

Tablo 6.5. Ø18,3 mm matkap takımı için tepki yüzeyinin kuadratik model ANOVA analizi

Tepki yüzeyinin kuadratik modeli için ANOVA						
Varyans tablosunun analizi (Kısmen kareler-tip 3)						
	Toplamı		Ortalama	F	P değeri	
Kaynak	Kareler	Df	Kare	Değer	Prob > F	
Model	2,194E-003	5	4,389E-004	209,95	< 0,0001	Önemli
A-Takım dönme hızı	8,402E-004	1	8,402E-004	401,93	< 0,0001	
B-İlerleme miktarı	1,320E-003	1	1,320E-003	631,56	< 0,0001	
AB	9,000E-006	1	9,000E-006	4,31	0,0767	
A ²	7,725E-006	1	7,725E-006	3,70	0,0960	
B ²	7,725E-006	1	7,725E-006	3,70	0,0960	
Kalıntı	1,463E-005	7	2,090E-006			
Uyumsuzluk	7,832E-006	3	2,611E-006	1,54	0,3354	Önemli değil
Teorik hata	6,800E-006	4	1,700E-006			
Toplam	2,209E-003	12				

Tepki yüzeyinin kuadratik model ANOVA analizi tablo 6.5'de gösterilmiştir. F değeri 209,95 olduğundan modelin önemini ifade etmektedir. Modelimizi elde edilen deneysel verilere göre oluşturmaktayız.

P parametrik değerlerinin 0,05'ten küçük olması durumunda modelin önemli olduğu bilinmektedir. Yani A ve B değerlerinin 0,05'ten küçük olması analiz için önemlidir. 0,1'den büyük olan değerler modelin terimleri için anlamı olmadığını göstermektedir. Fazla sayıda önemi olmayan veriler olduğu zaman modelimiz aza indirgenerek geliştirilmektedir. Uyumsuzluk değerinin yüksek olması istenen bir durumdur.

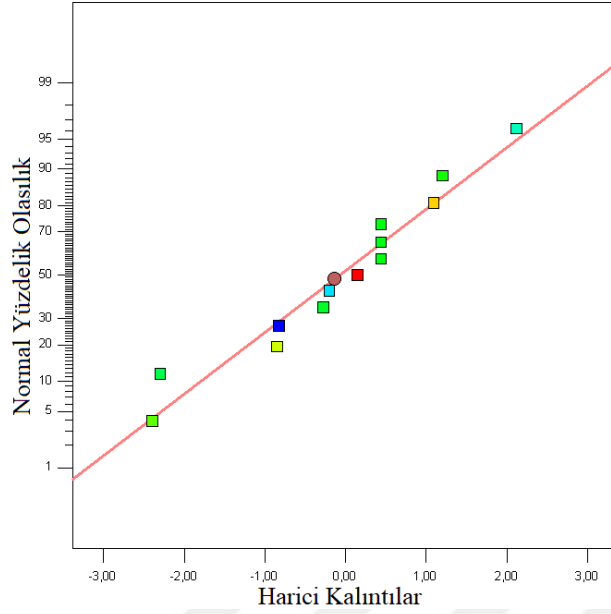
Yapılan analizde 1,54 olan F uyumsuzluk değerinin düşüklüğü bize yine bu tarzda yapılan bir çalışma için modelin kullanılamayacağını söylemektedir. Eğer bu değer yüksek olsaydı bu tarz çalışmalar için yine kullanılabilirdi. Yani modelin geçerli olması için bu F değerinin yüksek olması gerekmektedir.

Tablo 6.6. Ø18,3 mm matkap takımı için analiz değerleri

Standart sapma	1,446E-003	R kare	0,9934
Ortalama	0,12	Düzeltilmiş R kare	0,9886
C.V. %	1,23	Tahmin edilen R kare	0,9612
Press	8,575E-005	Yeterli Hassasiyet	54,299
-2 Logaritma olasılığı	-141,17	BIC	-125,78
		AICc	-115,17

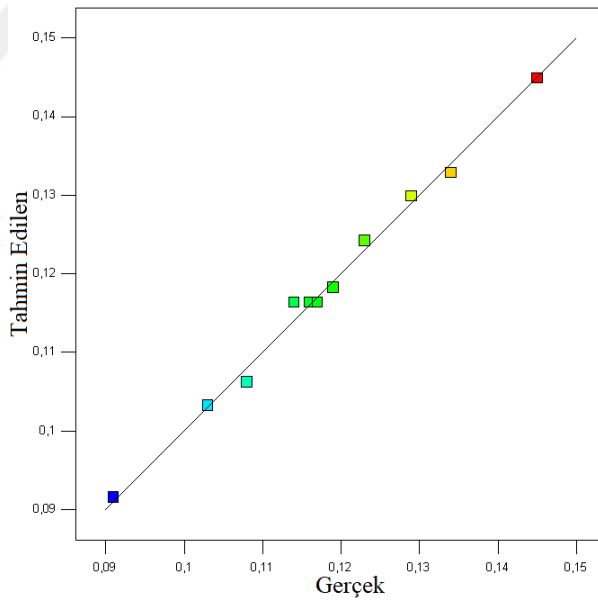
Tablo 6.6'da elde edilen analiz değerleri gösterilmiştir. Ortalama aksenal kaçıklığın değeri 0,12 mm değerindedir. R kare değeri 0,9934 oranla geçerlilik gösterebilmektedir. R kare değeri modeldeki her bir bağımsız değişkenin bağımlı olan değişkenleri açıkladığını varsaymaktadır. R kare varyasyon yüzdesi bize modelimizde bağımsız olan değişkenlerin bağımlı olan değişkenleri etkilediğini açıklamaktadır. Düzeltilmiş R kare oranının değeri 0,9886 bulunmuştur.

Buradan çıkarılan anlam, gerçekte olan bağımlı değişkenleri etkileyen yalnız bağımsız değişkenler ile ortaya çıkan değişimin yüzdesini bize vermektedir. Tahmin edilen R kare değeri 0,9612 olarak çıkmıştır. Gerçek olan değerlerle kıyaslandığında %4 oranında bir farkın olduğu görülmektedir. Yani deneylerden elde edilen veriler ile modelimizden elde edilen veriler arasındaki farkı göstermektedir. Tahmin edilen değerlerin %70'in üstünde olması beklenmektedir.



Şekil 6.6. Ø18,3 mm matkap takımı için normal yüzdeler olasılık ve harici kalıntılar grafiği.

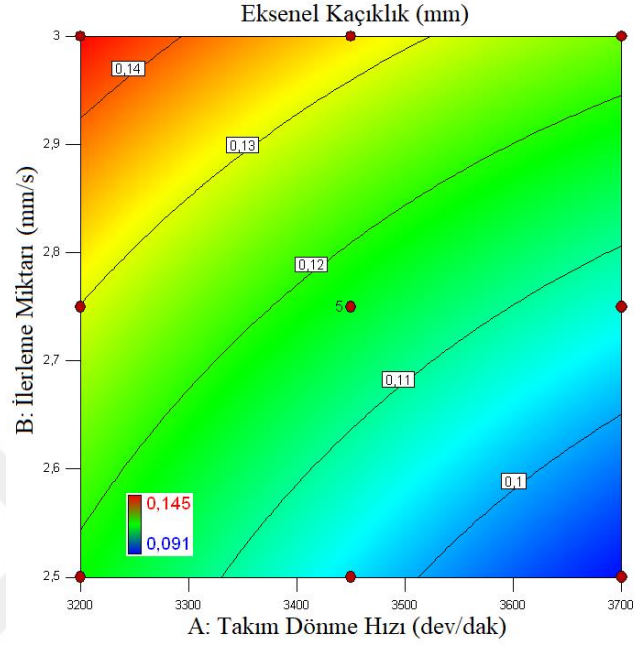
Şekil 6.6'da Ø18,3 mm matkap için normal yüzdeler olasılık ve harici kalıntılar grafiği ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.



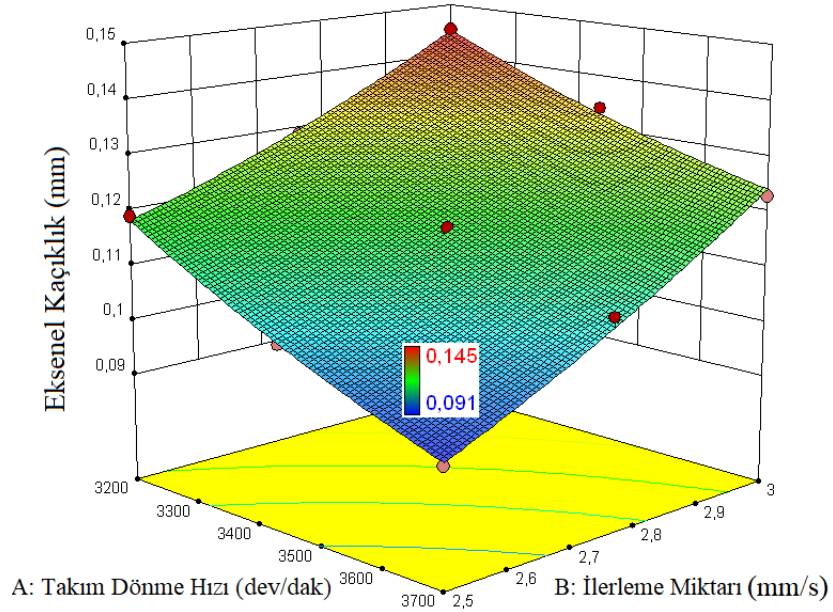
Şekil 6.7. Ø18,3 mm matkap takımı için gerçek ve tahmin edilen değerlerin grafiği.

Şekil 6.7'de Ø18,3 mm matkap için gerçek ve tahmin edilen değerlerin grafiği verilmiştir. Grafikten anlaşılacağı üzere tahmin edilen aksel kaçıklık değerleri gerçek olan değerlere yakındır.

Şekil 6.8’de takım dönme hızı ile ilerleme miktarının aksel kaçıklık açısından farklılığı gösterilmiştir. Grafiğe göre en düşük aksel kaçıklık değeri 0,091 mm, en yüksek aksel kaçıklık değeri 0,145 mm olarak bulunmuştur.

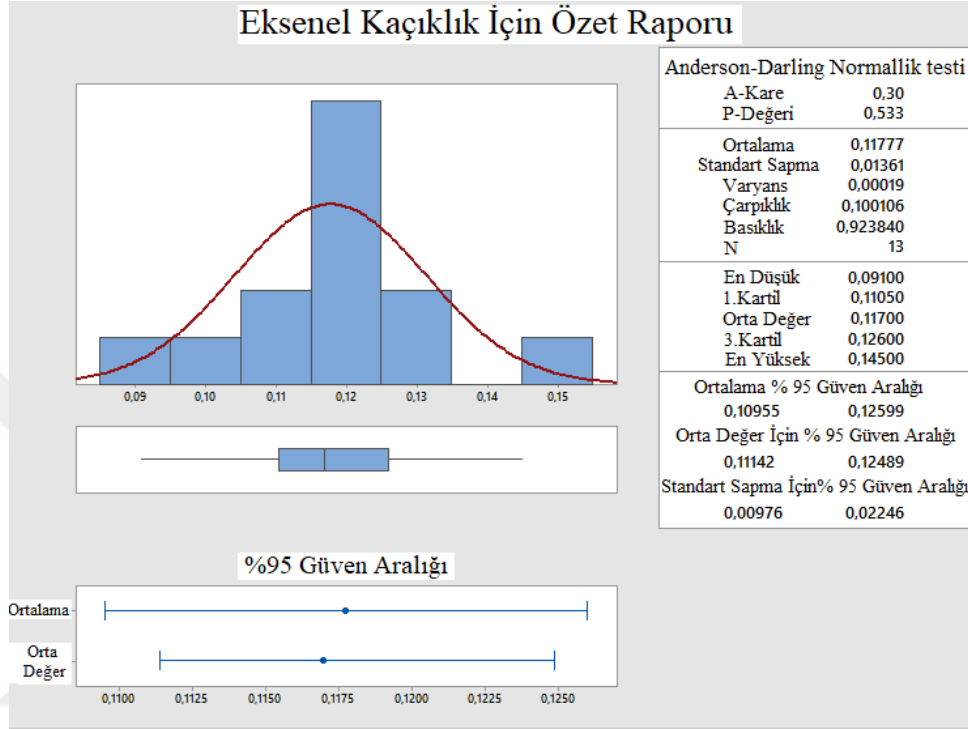


Şekil 6.8. Ø18,3 mm matkap takımı için takım dönme hızı ile ilerleme miktarının aksel kaçıklığa olan etkisi.



Şekil 6.9. Ø18,3 mm matkap takımı için aksel kaçıklığa kesme parametrelerinin etkisi.

Şekil 6.9'daki üç boyutlu grafikte aksenal kaçıklığa etki eden takım dönme hızı ve ilerleme miktarını gösteren grafik verilmiştir. Yine bu üç boyutlu olan grafikte en düşük aksenal kaçıklık değeri 0,091 mm ve en yüksek aksenal kaçıklık değeri 0,145 mm olarak bulunmuştur.

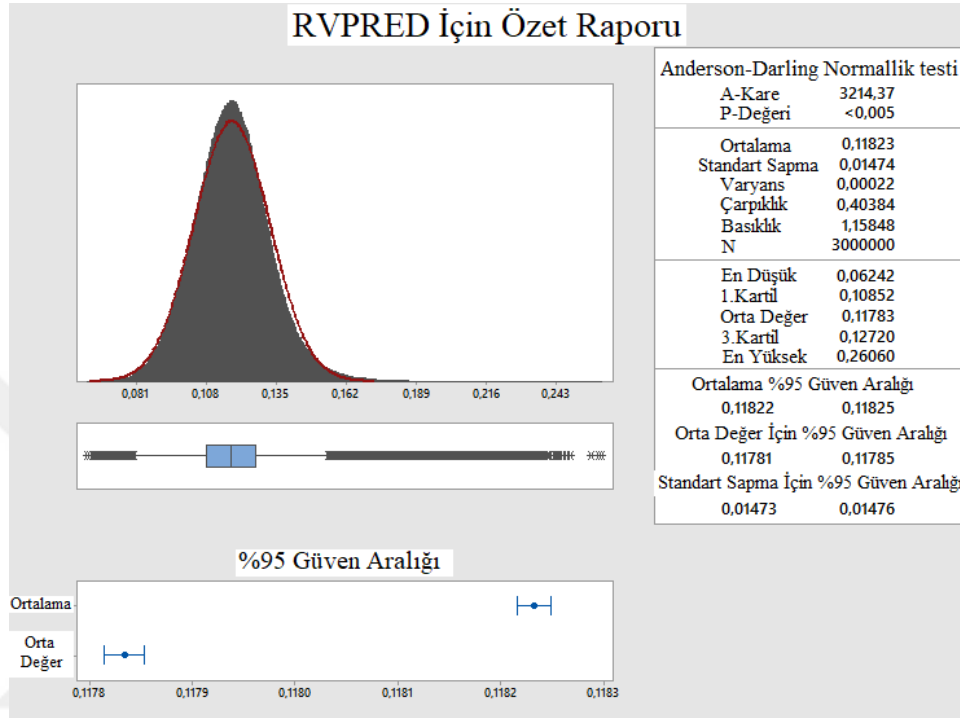


Şekil 6.10. Ø18,3 mm matkap takımı için aksenal kaçıklık özet raporu grafiği.

Şekil 6.10'da deneysel verilerin grafiği verilmiştir. Yaptığımız 13 adet deneyin sonuçlarına göre ve aynı zamanda %95 güven aralığında olan ortalama aksenal kaçıklık değeri 0,11777 mm olarak çıkmıştır. Deneysel verilerle ve Monte Carlo metodu ile türetilmekte olan bu verilerin standart sapmasının birbirine çok yakın olduğu görüldüğünden belirsizliğin hiç olmadığı uygulamalarımızda görülmüştür. Yani belirsizliğin sıfıra yakın olduğunu bize söylemektedir.

Aradaki tahmin edilemeyen oran için Monte Carlo metodu kullanılarak rastgele 100.000 değişkenin verileri kullanılarak 30 adet tekrar alınmıştır ve 3.000.000 çıktı fonksiyonu elde edilmesi gerçekleştirilmiştir. Monte Carlo yöntemi ve regresyon analizi modelinin çözümü yapılmıştır. Histogram dağılımı ve Monte Carlo çözümünün karşılaştırmaları yapılmıştır.

P value değerlerinde bulunan çok düşük olan değerler ile üretilen bu modelin mantıklı ve anlamlı olduğunu göstermektedir. Deney tasarımının kolaylığı ile gerekenden daha az deney yapılmıştır. Olumlu bir durum olarak zamandan tasarruf edilmiştir.



Şekil 6.11. Ø18,3 mm matkap takımı için Monte Carlo özet raporu grafiği.

Şekil 6.11'de Monte Carlo analizi grafiği gösterilmiştir. 3.000.000 deney sonucuna göre aksenal kaçıklığın ortalama değeri %95 güven aralığını da ele aldığımızda 0,11823 mm olarak bulunmuştur. Elde edilen değerlerin sonuçlara göre ilerleme miktarı arttıkça aksenal kaçıklık artış göstermektedir. Takım dönme hızının aksenal kaçıklık değerinin üzerine etkileri vardır. Yaptığımız bu matematik modelleme ile elde edilen tahminler gerçek olan değerlere yakındır. Bu yakınlığı şekil 6.7'de görebiliriz. Üç boyutlu grafik incelendiğinde aksenal kaçıklık için en düşük değer 0,091 mm ve en yüksek değer 0,145 mm olarak sonuçlar çıkmıştır.

İstatistiksel yöntemde Minitab 17 ve Dizayn expert programları kullanılarak sonuca varmaya çalışılmıştır. Yanıt yüzey yöntemi kullanılarak deneylerin tasarımları yapılmıştır. Sonrasında matematik modeli oluşturularak regresyon analizi uygulanmıştır. İkili etkileşimi olan grafikler çizilmiştir.

Optimizasyonun sonucunda ortaya çıkan en ideal değerler istatistiksel yöntem ile belirlenmiştir. Bu optimizasyon değerleri kullanılarak yeniden deneyler yapılmış ve tahmin edilmekte olan optimize edilmiş değerler ortaya çıkmıştır. Burada modelin doğruluğunu anlayabilmek için ANOVA analizi yöntemi kullanılmıştır. Düzenlenmiş olan R kare ile R kare arasında 0,2'den az bir değişim vardır.

R kare 80 değerinin üzerindedir. Buda modelimizin tahmin kuvvetinin sağlam olduğunu gösterir. Diğer yandan elde edilen P value değerinin 0,005'ten küçük olması iyi bir durumdur. Bu şekilde olduğunda modelin geçerliliği belli olmaktadır. R kare değerinin 100'den çıkarılması ile elde edilen sonuca baktığımızda ortaya çıkan bu değer tahmin edilemeyen değer olarak bilinmektedir.

Ø37,4 mm matkap için eksenel kaçıklığın matematiksel modeli

Eksenel kaçıklık =

-0,028923

-1,26667E-005 * Takım dönme hızı

+0,075556 * İlerleme miktarı

Tablo 6.7. Ø37,4 mm matkap takımı için tepki yüzeyinin doğrusal model ANOVA analizi

Tepki yüzeyinin doğrusal modeli için ANOVA						
Varyans tablosunun analizi (Kısmen kareler-tip 3)						
	Toplamı		Ortalama	F	P değeri	
Kaynak	Kareler	Df	Kare	Değer	Prob > F	
Model	1,011E-003	2	5,057E-004	287,48	< 0,0001	Önemli
A-Takım dönme hızı	2,407E-004	1	2,407E-004	136,82	< 0,0001	
B-İlerleme miktarı	7,707E-004	1	7,707E-004	438,13	< 0,0001	
Kalıntı	1,759E-005	10	1,759E-006			
Uyumsuzluk	1,079E-005	6	1,798E-006	1,06	0,5015	Önemli değil
Teorik hata	6,800E-006	4	1,700E-006			
Toplam	1,029E-003	12				

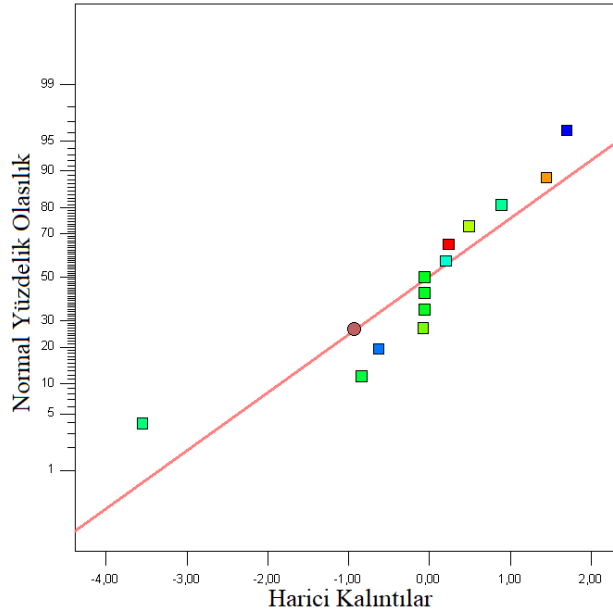
Tablo 6.7'de tepki yüzeyinin doğrusal model ANOVA analizi verilmiştir. F değeri 287,48 olarak çıkmıştır. Buda modelin önemli olduğunu ifade etmektedir. Çok fazla sayıda önemsiz veriler olduğu zaman model az sayılara indirgenmektedir.

Yapılan analizde 1,06 şeklinde çıkan F değerimiz bize yine bu tip bir çalışma için modelin uygun olmadığı anlamını çıkarmaktadır. Burada A ve B modelin önemli terimleridir. Prob>F değerinin 0,05'ten küçük olması son derece önemlidir.

Tablo 6.8. Ø37,4 mm matkap takımı için analiz değerleri

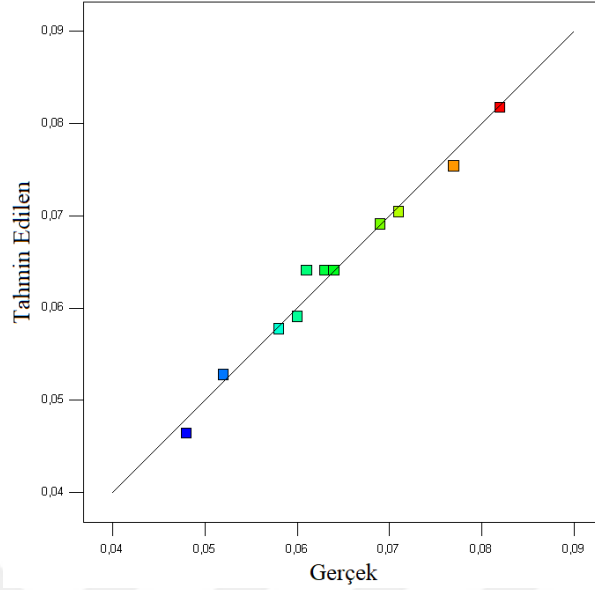
Standart sapma	1,326E-003	R kare	0,9829
Ortalama	0,064	Düzeltilmiş R kare	0,9795
C.V. %	2,07	Tahmin edilen R kare	0,9723
Press	2,852E-005	Uygun hassasiyet	55,458
-2 Logaritma olasılığı	-138,78	BIC	-131,08
		AICc	-130,11

Elde edilen analiz değerleri tablo 6.8'de verilmiştir. Ortalama olarak çizelgede aksel kaçıklığın değeri 0,064 mm olarak bulunmuştur. R karenin değeri 0,9829 oranıyla geçerlidir. Modelimizdeki R kare değeri bağımsız değişkenlerin bağımlı olan değişkenleri ifade ettiğini söylemektedir. Düzeltilmiş olan R kare oranı 0,9795 olarak ortaya çıkmıştır. Bu değer bize ortaya çıkan değişimin yüzdesini vermektedir. Tahmin edilen R karenin değeri 0,9723 şeklindedir. Gerçek değerle karşılaştırıldığında %3 oranında bir farklılık söz konusudur. Tahmin edilen oranın belirli bir orandan yüksek olması gerekmektedir.



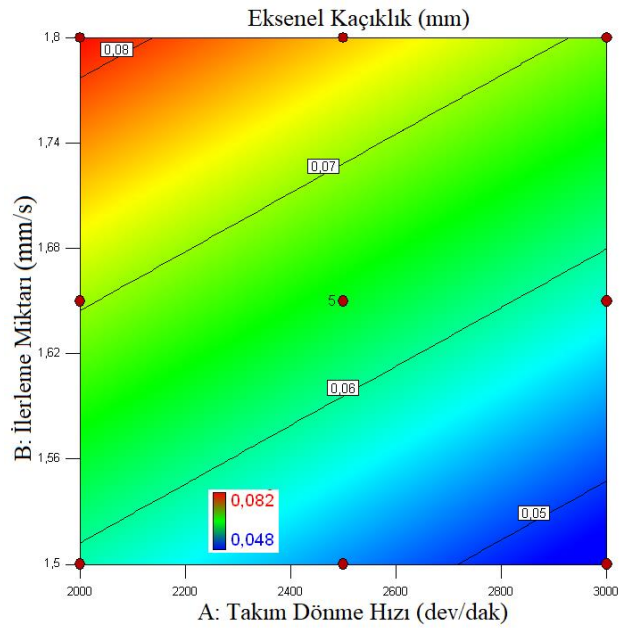
Şekil 6.12. Ø37,4 mm matkap takımı için normal yüzdellik olasılık ve harici kalıntılar grafiği.

Şekil 6.12'de Ø37,4 mm matkap için normal yüzdelik olasılık ve harici kalıntıların grafiği gösterilmiştir.



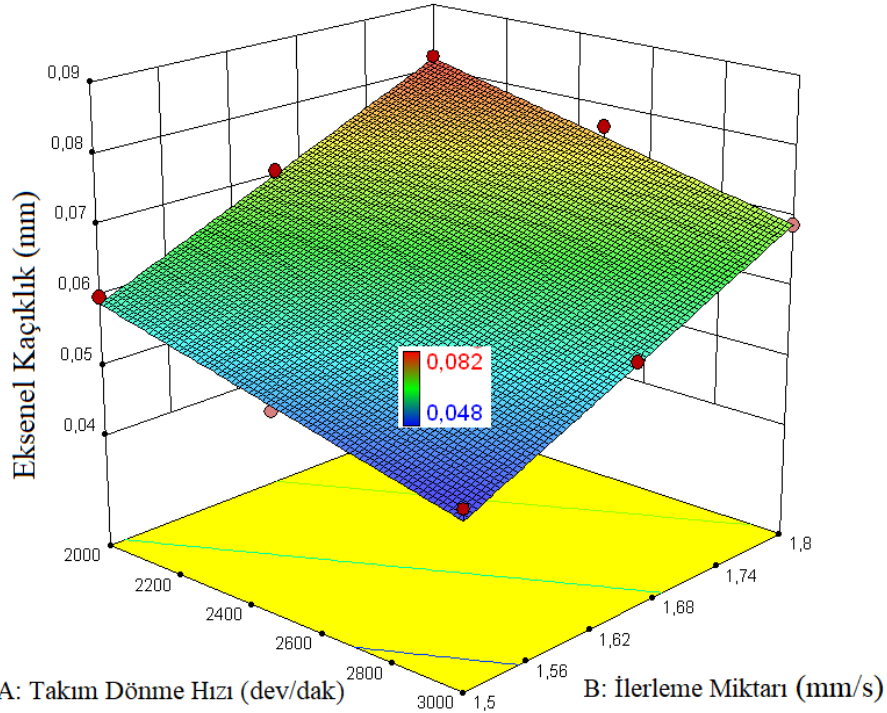
Şekil 6.13. Ø37,4 mm matkap takımı için gerçek ve tahmin edilen değerlerin grafiği.

Şekil 6.13'te Ø37,4 mm matkap için gerçek ve tahmin edilen değerlerin oluşturduğu grafik gösterilmiştir. Bu grafikten elde edilen sonuç; tahmin edilen aksel kaçıklık değerleri gerçek olan değerlere yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 6.14. Ø37,4 mm matkap takımı için takım dönme hızı ile ilerleme miktarının aksel kaçıklığa olan etkisi.

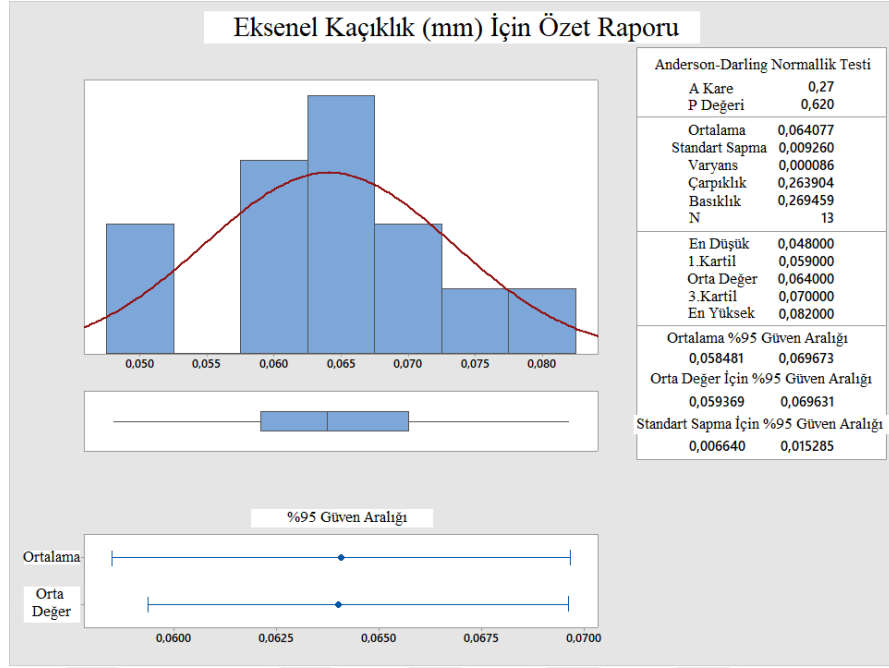
Şekil 6.14'te takımın dönme hızı (dev/dak) ile ilerleme miktarının (mm/s) aksel kaçıklığa olan etkileri gösterilmiştir. Bu grafikte en düşük aksel kaçıklık değeri 0,048 mm, en büyük olan aksel kaçıklık değeri de 0,082 mm olarak görünmektedir.



Şekil 6.15. Ø37,4 mm matkap takımı için aksel kaçıklığa kesme parametrelerinin etkisi.

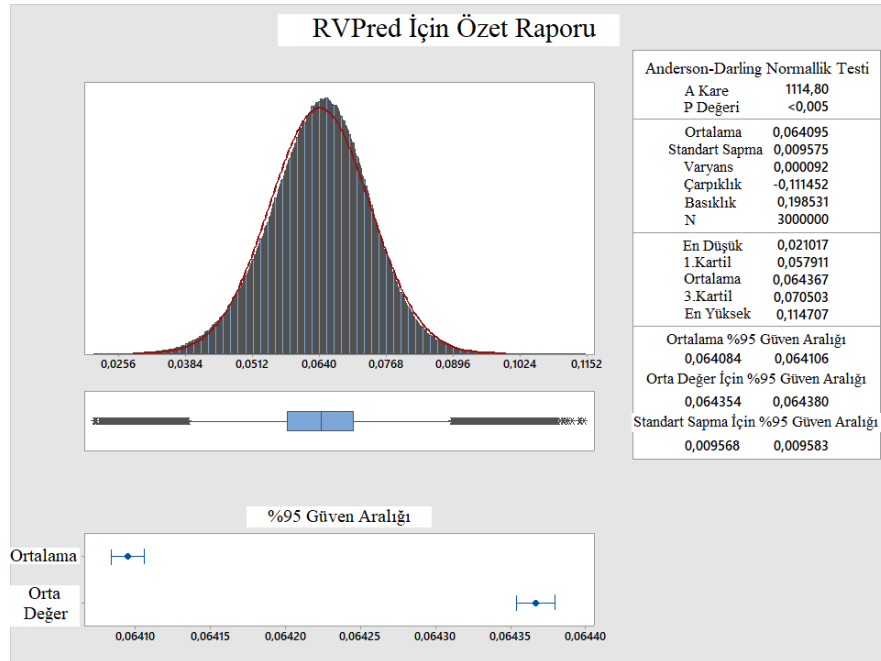
Şekil 6.15'te görülmekte olan üç boyutu grafikte aksel kaçıklığa etki eden takım dönme hızı (dev/dak) ve ilerleme miktarı (mm/s) verilmiştir. En düşük aksel kaçıklık değeri 0,048 mm, en yüksek değer ise 0,082 mm olarak çıkmıştır.

Şekil 6.16'da Ø37,4 mm matkap için aksel kaçıklık özet raporu grafiği gösterilmiştir. %95 güven aralığının da 13 adet deney yapılmıştır. Bu deneylerin sonucunda ortalama aksel kaçıklık değeri 0,064077 mm olarak ortaya çıkmıştır. Belirsizlik neredeyse görülmemiş olup sıfır değerine yakındır. Tahmin edilemeyen oran için Monte Carlo yönteminde rastgele 100 bin değişken ile 30 tekrar yapılmıştır. Yani 3.000.000 çıktı elde edilmiştir. Histogram dağılımı yapılmıştır ve Monte Carlo ile karşılaştırılmıştır. Üretilen bu modelin mantıklı ve anlamlı olduğu anlaşılmıştır. Deneysel tasarımın kolaylığı için az deney yapılmıştır.



Şekil 6.16. Ø37,4 mm matkap takımı için eksenel kaçıklık özet raporu grafiği.

Şekil 6.17’de Ø37,4 mm matkap için Monte Carlo özet raporu grafiği verilmiştir. %95 güven aralığında yapılan 3.000.000 deneyin sonucunda ortaya çıkan ortalama eksenel kaçıklığın değeri 0,064095 mm olarak bulunmuştur.



Şekil 6.17. Ø37,4 mm matkap takımı için Monte Carlo özet raporu grafiği.

Deneysel sonuçlara göre ilerleme değeri arttıkça eksenel kaçıklık değerinin de arttığı görülmektedir. Takım dönme hızının eksenel kaçıklık değerine etkileri vardır. Optimizasyon sonucu ortaya çıkan değerler istatistiksel yöntem ile yapılmıştır. Bu değerleri kullanarak yeni deneyler yapılmış ve tahmin edilen optimize değerler bulunmuştur. Bütün bunlar için ANOVA analizi yöntemi kullanılmıştır.

Düzeltilmiş olan R kare ile R karenin değerinin arasında 0,2'den az bir fark vardır. P değerinin 0,005'ten küçük olması gerekmektedir. Çünkü modelin geçerliliği söz konusudur. R kare oranının 100 değerinden çıkarılması ile ortaya çıkan fark tahmin edilemeyen değerdir.

Elde edilen deneyler ile en uygun eksenel kaçıklık değerini ortaya çıkaran takım SEM cihazında incelenmiştir. Takımların SEM cihazında görüntüleri elde edilmiş ve sonuçlar açıklanmıştır (Şekil 6.18).

6.2 Kesme Parametrelerinin Kesici Takım Üzerindeki Etkisi

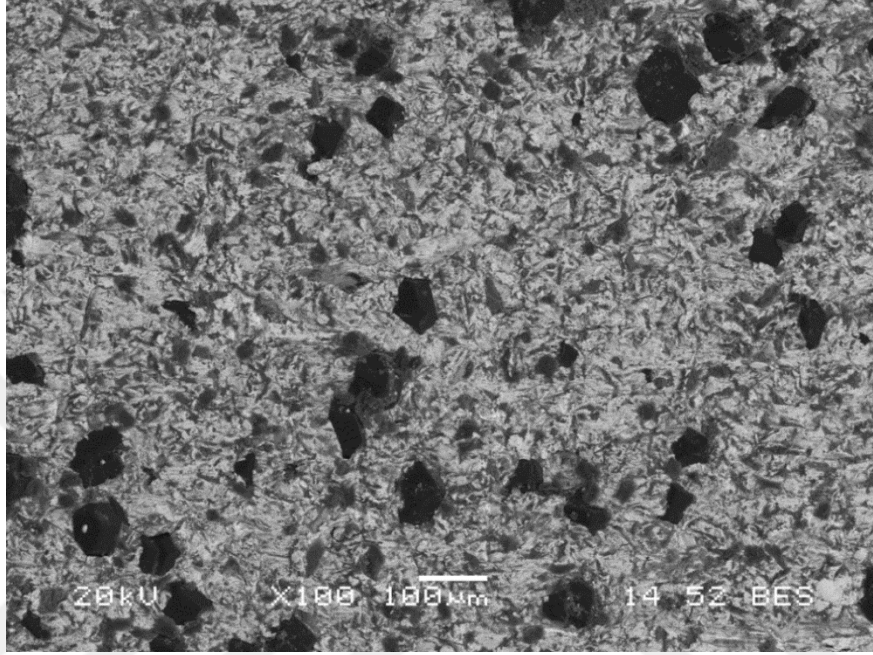
Bu bölümde farklı çaplardaki kesici takımlar SEM (Scanning Electron Microscope) ile incelenerek görüntülenmiştir. SEM cihazına bağlı olarak numunenin kimyasal analizi de yapılabilmektedir. Taramalı elektron mikroskobu yani SEM, aşırı küçük alanlara odaklanabilen yüksek enerjili elektronlar ile yüzeylerin taranması prensibine dayanmaktadır.

Cam delme işleminde kullanılan matkaplardan bazıları ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Kullanılan cam delme matkaplarının SEM görüntüleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. SEM görüntüleri 20 kilovolt gerilimde elde edilmiştir. Kullanılan takımın ömürleri kesici takımların ve kesme şartlarının seçiminde dikkat edilmesi gereken önemli faktörlerden biri haline gelmiştir. Çünkü takımların ömrü, aşınma maliyetleri ve işleme kalitesini önemli oranda etkilemektedir.

Takımların ömürlerinin anlaşılır hale gelmesi için takım ömrünün neden bittiğinin bilinmesi gerekmektedir. Genel olarak takımların ömürleri aşınma, plastik deformasyon ve kırılma sonucunda sona ermektedir.

Kesme parametreleri ve işleme şartlarının doğru bir şekilde seçilmesi takımların ömürlerini ve işleme verilerini artırma yönünde katkı sağlayacaktır (Özdemir ve Çakır, 2008).

6.3 Ø37.4 mm Cam Delme Matkabı İçin SEM Sonucu



Şekil 6.18. Ø37,4 mm matkap takımı için 100x büyütme ve 100 µm yüzey pürüzlülüğünün SEM görüntüsü.

Cam delme matkaplarının analizleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) yapılmıştır. Analiz sonucu şekil 6.18’de verilmiştir. Cam delme işleminde siyahla görünen elmas parçacıkları kullanılmıştır. Elmas tanelerinin büyüklükleri arasında farklar bulunmaktadır. Elmas tanecikleri cam delme matkabını sert bir duruma getirmiştir. Elmas tanelerinde kopmalar görülmektedir. Buda bize bağlayıcı olarak kullanılan malzemelerin kuvvetli bir bağlayıcı olduğunu göstermektedir.

Elmas parçacıkları üstünde herhangi bir kalıntıya rastlanmamıştır. Keskinlik özellikleri bitmeyen elmas parçacıkları vardır. Bu yapı delme işlemi için uygundur. Elmas parçacıklarının düşmediği görüldüğünden ömrünün uzun olduğu anlaşılmıştır. Elmas parçacıkları körelmemiş durumdadır. Daha homojen ve aynı boyutlarda elmas parçacıkları tercih edilmesi ömrü daha da uzatabilir. Bağlayıcı yapısı fevkalade yoğundur. Buda delme takımları için istenen bir durumdur. Çünkü delme işleminde

hem ilerleme hem de kesme işlemini takım yapmaktadır. Takımlara gelen kuvvetler yüksektir. Rodaj disklerinde kullanılan taşlara göre daha yoğun bir bağlayıcı gereksinimi mevcuttur. Birim alana düşen elmas parçacık sayısı rodaj disklerine göre daha fazladır.



7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Delik delme işlemi metal, alüminyum, kompozit vb. malzemelerde çok kullanılması ile birlikte cam delme endüstrisinde de yüksek oranlarda kullanılmaktadır. Bu yüzden cam malzemenin delinmesinde optimizasyon önemli bir yere sahiptir.

Tez çalışmasında belirli boyutlardaki ve kalınlıktaki farklı cam türlerine delik delme işlemi yapılmıştır. Bu işlem için farklı devir ve ilerlemeler kullanılarak deliklerdeki aksenal kaçıklık değerlerine bakılarak optimum değerler bulunmuştur. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- İlerleme değeri arttıkça aksenal kaçıklık değeri artış göstermektedir.
- Takım dönme hızının aksenal kaçıklık üzerine etkileri vardır.
- Deneysel verilerle ve Monte Carlo metodu ile türetilmiş olan bu verilerin, ortaya çıkan sonuçlarına baktığımızda standart sapmasının birbirlerine çok yakın olduğu anlaşıldığından belirsizliğin hiç olmadığı görülmüştür.
- İstatistiksel yöntemler olarak varyans (ANOVA) analizi ve Monte Carlo yöntemi kullanılmıştır.
- Modelimizde elde edilen tahminlerin, gerçek olan değerlere yakın olduğu görülmüştür. Yani tahmin edilen aksenal kaçıklık değerleri, gerçek olan değerlere yakındır.
- P değeri $< 0,005$ olduğundan box-behnken dayalı üretilen modelin uygulanabilir ve kuvvetli olduğu görülmüştür.
- Üretilen matematiksel model ile aksenal kaçıklık değeri için optimizasyon yöntemi ile kesme parametrelerinin seçimi yapılabilmektedir.
- Ø18,3 mm matkap takımı için optimizasyon sonucunda ortaya çıkan aksenal kaçıklık değeri 0,11823 mm olarak bulunmuştur.
- Ø37,4 mm matkap takımı için optimizasyon sonucunda elde edilen aksenal kaçıklık değeri 0,064095 mm olarak ortaya çıkmıştır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında cam malzeme ile ilgili bilinmesi gereken detaylar ve kavramlar açıklanmıştır. Camın tarihsel gelişimine önem verilerek ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Cam malzemenin nasıl ve ne şekilde oluştuğu açıklanmıştır. Aynı zamanda camın kimyasal yapılarına değinilmiştir. Daha sonrasında cam delme işlemi günümüz teknolojisindeki kullanımı ile detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Deneyleerde bronz reflekte cam ve düz cam çeşidi kullanılmıştır. Deneyleerin numuneleri Retatek makinasında matkaplar ile delinerek elde edilmiştir. Fazlaca deney yapmak içinde Glassline ve Taiwan makinalarından numuneler alınmıştır.

Tez çalışmasının amacı; cam delme yöntemini ayrıntılı bir şekilde anlatarak belirlenmiş olan cam delme matkapları ile takım dönme hızı ve ilerleme miktarının seçilmesi ile birlikte ortaya çıkan aksenal kaçıklık değerin istatistiksel yöntemlerle optimizasyonu yapılarak en ideal olan optimum değerin bulunması sağlanmıştır. Piyasada kullanılan cam delme işleminde en yaygın kullanılan yöntem matkap ucu ile delme yöntemidir. Matkapla delme işleminde kalite ve verimlilik için kesme hızı ve ilerleme miktarının seçimi çok önemlidir. Cam malzeme delme işlemi sırası ile detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Belirli kesme hızı ve ilerlemede uygun olan matkaplar belirlenerek iyi bir delme işlemi gerçekleştirebilir. Bu yüzden delme parametrelerinin seçimi son derece önemlidir.

Cam malzeme delinirken mukavemet özelliği açısından bakıldığında belirli olan mesafelerde delme işlemi yapılmalıdır. Cam delme yöntemleri arasında günümüzde zamandan tasarruf açısından lazer ile kesme yönteminin kullanımı artmaktadır. Delme teknolojisinde lazer ile kesim yöntemi geleceğin delme metotları arasında en iyi yöntem olarak piyasada yerini alacaktır diyebiliriz. Çünkü lazer ile kesimde delik delme hızı ve delik hassasiyeti açısından daha iyi bir durum söz konusudur. Matkap ucu ile delinen işlemlerde delme hızı düşük olduğundan olumsuz bir özellik olarak söylenebilir. Bu çalışmada cam delme işlemi matkaplar ile yapılmaktadır. Kullanılan cam delme matkapları ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Fazlaca delik delme işleminden sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Deneyleerde kullanılan cam çeşitlerinin delindiğı makinalar, özellikleri ve çalışma prensibi anlatılmıştır. Kullanılan makinalarda tezin ana teması olan camın delinmesinde kullanılan delme parametrelerinin istatistiksel yöntemlerle optimizasyonu yapılmıştır. İstatistiksel yöntem ve optimizasyon çalışmamızda belirli olan analiz ve simülasyon yöntemleri kullanılmıştır. Varyans (ANOVA) analizi ve Monte Carlo simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan programlar; Minitap 17 ve Dizayn Expert programlarıdır. Cam delme işleminden elde edilen sonuç ilerleme miktarı arttıkça aksnel kaçıklık değerinin arttığı görölmektedir. Bunun yanı sıra takım dönme hızının da etkilerinin olduğu görölmüştür.



9. KAYNAKLAR

- Akbaş HG (2010) Servo Kontrollü Cnc Cam Delme Makinası Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, ERÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 6s, Kayseri.
- Akçay M, Sekmen Y ve Gölcü M (2014) Oto Cam Temperleme İşleminde Isıtma ve Soğutma Sıcaklıklarının Ani Soğutma Süresine ve Parçacık Sayısına Etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(3): 605-615.
- Alabaş Ç ve Baykoç ÖF (2001) “Monte Carlo Benzetiminin Bir Karar Problemine Uygulanması”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1): 145-149.
- Apay S ve Gülenç B (2013) “AISI 1018 Çelik Yüzeyine GTA Yöntemiyle Stellite Kaplamanın Mekanik Özelliklere Etkisi”, İleri Teknolojileri Bilimleri Dergisi, 1(2): 62-76.
- Arslan N (2013) “Serbest Cam Tasarımı ve Endüstriyel Cam Tasarımı Eğitiminde Sıcak Cam Atölyesinin Önemi”, Sanat-Tasarım Dergisi, 1(4): 39-46.
- Asil Cam, Bronz Reflekte Cam, <http://www.asilcam.net/bronz-reflekte-cam/>, 29 Mart 2018.
- Axinte E (2011) “Glasses as Engineering Materials: A review”, Materials and Design, 32: 1717-1732.
- Bayraktar Ş, Siyambaş Y ve Turgut Y (2017) “Delik Delme Prosesi: Bir Araştırma”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(2): 120-130.
- Blank V, Popov M, Pivovarov G, Lvova N and Terentev S (1999) “Mechanical Properties of Different Types of Diamond”, Diamond and Related Materials, 8: 1531-1535.
- Calvo R, D'Amato R, Gómez E and Domingo R (2015) “A Comparative Experimental Study of an Alternative CMM Error Model Under Least-squares and Minimum Zone Fittings for Industrial Measuring”, Procedia Engineering, 132: 780-787.
- Cheng J, Wang C, Wen X and Gong Y (2014) “Modeling and Experimental Study on Micro-fracture Behavior and Restraining Technology in Micro-grinding of glass”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 85: 36-48.
- Çavuş TF ve Yanıkoğlu E (2003) “Karmaşık Sistemlerin Monte Carlo Yöntemi İle Güvenilirlik Analizi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(3): 99-102.

- Dursun Y ve Kocagöz E (2010) “Yapısal Eşitlik Modellemesi ve Regresyon: Karşılaştırmalı Bir Analiz”, Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 35: 1-17.
- Eker F ve Eker K (2016) “Antik Çağ Cam Yapım Tekniklerinin 3d Modelleme Çalışması İle Yeniden Ele Alınması”, Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, (15): 198-214.
- Erdin N (1986) “Tarama Elektron Mikroskopunun Temel Prensipleri ve Numune Hazırlama”, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 36(2): 102-124.
- Ergün G ve Yenisey M (2006) “Fiberle Güçlendirilmiş Kompozit (FGK) Sabit Protezlerin Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) İle Değerlendirilmesi ve İçeriklerinin Element Analizlerinin (EDS) Yapılması”, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 7(2): 73-81.
- Gazi Üniversitesi Biyoloji Bölümü, Sem Özellikleri, <http://biyoloji.gazi.edu.tr/posts/view/title/sem-ozellikleri-31125>, 10 Mayıs 2018.
- GCA Gürallar Cam Ambalaj, Cam Nedir?, <http://www.gca.com/cam-kutuphanesi/cam-nedir>, 06 Nisan 2018.
- Gök S (2004) “2000 Yılı Beçin Kazısında Bulunan Cam Kandil Hakkında”, Sanat Tarihi Dergisi, 13(1): 33-41.
- Gökkaya H, Sur G ve Dilipak H (2004) “PVD ve CVD Kaplamalı Sementit Karbür Kesici Takımların İşleme Parametrelerine Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknoloji Dergisi, 7(3): 473-478.
- Gültekin AT ve Asyalı MH (2007) “Pi Sayısının Monte-Carlo Methodu ve Gregory/Leibniz Formülüyle Hesaplanması”, Yaşar Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 2(7): 751-760.
- Gürsoy H ve Gürsoy ME (2006), Camın icadı ve Tarihçesi, <http://www.bilgiustam.com/camin-icadi-ve-tarihcesi/>, 06 Aralık 2017.
- Groover MP (2007) Fundamentals of Modern Manufacturing, <http://web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI/ch12-Cam.ppt>, 3/e, John Wiley & Sons, 23 Kasım 2017.
- Habalı K, Gökkaya H ve Sert H (2006) “Kesici Takım Kaplama Malzemesi ve Kesme Parametrelerinin AISI 1040 Çeliğinin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Politeknik Dergisi, 9(1): 35-38.
- Hançerlioğulları A (2006) “Monte Carlo Simülasyon Metodu ve Mcnp Kod Sistemi”, Kastamonu Eğitim Dergisi, 14(2): 545-556.

HG GmbH, Dea Mistral 151009, <http://www.hggmbh.de/news/39/15/DEA-Mistral-151009>, 03 Nisan 2018.

İN SladeShare, Taramalı Elektron Mikroskobu, <https://www.slideshare.net/iuslu/taramal-elektron-mikroskobu>, 14 Nisan 2018.

Jemad Madencilik, Kuvars, <http://www.jemad.com.tr/modul/index/menu/Kuvars/45>, 06 Nisan 2018.

Kaner SK (2008) Cam Ürün Üretim Aşamalarının ve Ürün Özelliklerine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, PÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 75-77.

Kantur U (2009) Kurşun geçirmez cam üretim sürecinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, TÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 5s, Trakya.

Kapakin T (2006) “Scanning-Elektron Mikroskobu”, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 17(1-2): 55-58.

Karağaç M (2017) Düz Camın Yüksek Basınçlı Su (Waterjet) İle Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, AİBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1s, Bolu.

Karaca F (2016) “Cam Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitlerde Delme Parametrelerinin Deformasyon Faktörüne Etkisinin Araştırılması”, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 28(2): 23-27.

Karasu B, Bereket O, Biryan E ve Sanoğlu D (2017) “The Latest Developments in Glass Science and Technology”, El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 4(2): 209-233.

Kayri M (2009) “Araştırmalarda Gruplar Arası Farkın Belirlenmesine Yönelik Çoklu Karşılaştırma (Post-Hoc) Teknikleri”, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 19(1): 51-64.

Kbt Bilim Sitesi, Kalite ve Süreç Kontrolü: CMM Teknolojisi, <http://www.kuark.org/2017/05/kalite-ve-surec-kontrolu-cmm-teknolojisi/>, 03 Nisan 2018.

Korkut İ ve Dönertaş MA (2003) “Kesme Parametrelerinin Frezelemede Oluşan Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkileri”, Politeknik Dergisi, 6(1): 385-389.

Kubátová D, Melichar M and Kutlwašer J (2017) “Evaluation of Repeatability and Reproducibility of CMM Equipment”, Procedia Manufacturing, 13: 558-564.

Küçükerman Ö (1985) “Cam Sanatı ve Geleneksel Türk Camcılığından Örnekler”, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, No: 271 Art Series: 39.

Leitch KK (2005) Structural Glass Technology: Systems and Applications, MSc Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 73s, United States of America.

- Megep (2008) “Seramik ve Cam Teknolojisi Camın Kimyasal Yapısı”, MEB, Ankara.
- Megep (2008) “Seramik ve Cam Teknolojisi Türkiye’de Cam Sektörü”, MEB, Ankara.
- Megep (2011) “Seramik ve Cam Teknolojisi Cam Kesimi 1”, MEB, Ankara.
- Megep (2013) “Seramik ve Cam Teknolojisi Cam Üretimi ve Şekillendirme Yöntemleri”, MEB, Ankara.
- Megep (2013) “Seramik ve Cam Teknolojisi Cam Türleri ve Camı Oluşturan Oksitler”, MEB, Ankara.
- Mühendishane, Amorf Yapıdaki Seramikler, <https://muhendishane.org/kutuphane/temel-malzeme-bilgisi/amorf-yapidaki-seramikler/>, 19 Kasım 2018.
- Öbelik Y (2011) Cam Hammaddesi Mineralojisi ve Cam Teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, NÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 4-5.
- Öcal G, Çağlar D, Atılğan DB ve İnce İ (2017) Camlar-Seramikler-Görsel Sanatların Kimya İle İlişkisi, <https://kimyaozelkonular.wordpress.com/konular/camlar-ve-seramikler/>, 06 Aralık 2017.
- Özdemir D, Mecit HD, Seventekin N ve Öktem T (2006) “Cam Lifleri”, Dergipark Tekstil ve Konfeksiyon, 16(1): 281-287.
- Özdemir K ve Çakır MC (2008) “Kesme Parametrelerinin Başlangıç Aşınmasına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi , 13(2): 99-109.
- Özdoğan M (2003) %15 Fluorapatit İçeren Potasyum-Kalsiyum Mika Cam Seramiklerinin Kristalleşme Davranışları, Mikro Yapısı ve İşlenebilirlik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 3-4.
- Özgül F (2009) Temperlenmiş Otomobil Camlarının Darbe Dayanımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 31-33.
- Öztürk S (2014) “Microstructural Analysis of Metal-bond Diamond Tools in Grinding of Flat Glass”, Material Wissen Schaft Und Werkstoff Technik/Materials Science And Engineering Technology, 45(3): 187-191.
- Persson HR (1983) “Glass Technology, Manufacturing and Properties”, Cheong Moon Gak Publ.Co., Seoul-Korea, 25-27.
- Reckens JLM (1998) “Facades and Architecture, Fascination in Aluminium and Glass”, TU Delft.

- Renishaw, PH10M Plus, <http://www.renishaw.com/en/ph10-plus-motorised-indexing-heads--6684>, 10 Nisan 2018.
- Sakarya Ş ve Yıldırım HH (2017) “Rüzgâr Enerjisi Santral Yatırımlarının Değerlendirilmesinde Monte Carlo Simülasyonunun Kullanılması”, Maliye Finans Yazıları, 108: 49-70.
- Sayuti M, Sarhan Ahmed A.D and Hamdi M (2011) “Optimizing the Machining Parameters in Glass Grinding Operation on the CNC Milling Machine for Best Surface Roughness”, Advanced Materials Research Vols., 154-155: 721-726.
- Teknik Ressamın Bloğu, CMM Koordinat Ölçüm Cihazları Hakkında Bilgi, <http://teknikressamm.blogspot.com.tr/2015/03/cmm-koordinat-olcme-cihazlari-hakkinda-bilgi.html>, 31 Mart 2018.
- Tezcan N (2011) “Parametrik Olmayan Regresyon Analizi”, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 10: 341-352.
- Türkbaş S ve Ataer ÖE (2007) “Camın Temperlenmesinde Isıtma ve Soğutma Süreçlerinin Karışık Sınır Şartlarında Sayısal Modellenmesi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(4): 727-738.
- TOBB (2012) Türkiye Cam ve Cam Ürünleri Sanayi Meclisi Sektör Raporu, Yayın No: 203, Ankara.
- Tosun K (2013) Camlar, http://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/13._Camlar.pdf, 26 Nisan 2018.
- Tönshoff HK, Spintig W, König W and Neises A (1994) “Machining of Holes Developments in Drilling Technology”, Annals of the CIRP, 43(2): 551-561.
- Ünal O (2017) Cam Malzemeler, http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/icerik/cam.htm, 22 Kasım 2017.
- Wikipedia, Obsidyen, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Obsidyen>, 06 Nisan 2018.
- Yağmur S, Acır A, Şeker U ve Günay M (2013) “Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Kesme Bölgesindeki Sıcaklığa Etkisinin Deneysel İncelenmesi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(1): 1-6.
- Yavuz AA ve Aşık EG (2017) “Kantil Regresyon”, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 9(2): 137-146.
- Yazar T ve Aslan T (2013) “Biçimlerin Temel İlkeleri Bağlamında Simge Olarak Geleneksel Türk Cam Sanatı ve Gelişimi”, The Journal of Academic Social Science Studies, 6(3): 829-854.
- Yorsan, Temper El Kitabı, <http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>, 03 Nisan 2018.

Zanotto ED and Mauro JC (2017) “The Glassy State of Matter: Its Definition and Ultimate Fate”, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 471: 490-495.



10. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Faruk HARMANCI
Doğum Yeri ve Tarihi :Bolu, 26.09.1993
Lisans Üniversite :Fırat Üniversitesi
Elektronik posta :harmancifaruk@gmail.com
İletişim Adresi :İzzet Baysal Mahallesi Merkez / BOLU

