

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



**DÜZ CAMIN DELİNMESİNDE KESİCİ TAKIMLARININ**  
**MİKROYAPISININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FATİH ÖZTÜRK**

**BOLU, ŞUBAT - 2019**

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



**DÜZ CAMIN DELİNMESİNDE KESİCİ TAKIMLARININ**  
**MİKROYAPISININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FATİH ÖZTÜRK**

**BOLU, TEMMUZ - 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Fatih ÖZTÜRK** tarafından hazırlanan “**DÜZ CAMIN DELİNMESİNDE KESİCİ TAKIMLARININ MİKROYAPISININ İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 04/07/2019** tarihinde **BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

Danışman  
Prof. Dr. Yahya ALTUNPAK  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye  
Doç. Dr. Ahmet KESKİN  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye  
Prof. Dr. Vahdet UÇAR  
Sakarya Üniversitesi

.....

**Prof. 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.

**Fatih ÖZTÜRK**

---

## ÖZET

**DÜZ CAMIN DELİNMESİNDE KESİCİ TAKIMLARININ  
MİKROYAPISININ İNCELENMESİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FATİH ÖZTÜRK  
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. YAHYA ALTUNPAK)**

**BOLU, TEMMUZ - 2019**

Günümüz endüstrisinde birçok alanda cam tercih edilmektedir. Camın kullanım alanları günden güne genişlemektedir, bu yüzden çok yüksek miktarda camın işlenmesine gereksinim duyulmaktadır. Cam delme işleminde matkapların hazırlanması en önemli etkili faktördür. Mikro yapının delme takımlarının ömrü üzerindeki etkisini araştırmak için üç farklı matkap hazırlanmış ve test edilmiştir. Takımların performansı aynı delme koşullarında incelenmiştir. Düz cam fabrikasında bir cam delme makinesinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Matkapların mikro yapı analizi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağıtıcı X-ışını analiz cihazı (EDX) kullanılarak spektrum sonuçlarına dayanarak sunulmuştur. Matkapların takım ömürleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Matkaplar arasında kıyaslandığında, bakır bazlı matkaplara demir eklenmesi, takımların kullanım ömrünü arttırdığı görülmüştür. Cam delme endüstrisinde kullanılabilen yeni bir takım kimyasal yapısı oluşturulmuştur. Karışım oranı yaklaşık olarak % 53 bakır, % 11 demir, % 4.4 çinko olan ve elmas parçacığı içeren matkap (D3) takım ömür açısından kullanıma daha uygundur.

**ANAHTAR KELİMELER:** Cam, Matkap, Takım Ömrü, Delme, mikroyapı

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS ON MICROSTRUCTURE OF CUTTING TOOLS WHEN DRILLING FLAT GLASS**

**MSC THESIS**

**FATİH ÖZTÜRK**

**BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF  
NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
(SUPERVISOR: PROF. DR. YAHYA ALTUNPAK)**

**BOLU, JULY 2019**

Glass is preferred in many fields in today's industry. The application areas of the glass are expanding day by day, so a very high amount of glass is required to be processed. Preparation of drilling tools is the most important effective factor in glass drilling. In order to investigate the effect of the microstructure on the life of the drilling tools, three different drilling tools were prepared and tested. The performance of the tools is examined under the same drilling conditions. Experimental works were carried out on a glass drilling machine in a flat glass factory. The microstructure analysis of the tools is presented based on the spectrum results using scanning electron microscope (SEM) and energy dispersive X-ray analysis device (EDX). Life time of the drilling tools is compared to each other. In comparison between the drills, addition of iron to copper based drilling tools increased the service life of the tools. A new chemical structure has been created that can be used in glass drilling industry. The drill (D3) with a mixing ratio of approximately 53% copper, 11% iron, 4.4% zinc and containing diamond particles is more suitable for use in terms of tool life.

**KEYWORDS:** Glass, Drill, Life Time, Drilling, Microstructure

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET.....	1
ABSTRACT .....	2
İÇİNDEKİLER .....	3
ŞEKİL LİSTESİ.....	5
TABLO LİSTESİ .....	6
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ .....	7
TEŞEKKÜR .....	9
1. GİRİŞ.....	10
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ .....	12
3. CAM .....	14
3.1 Camın Tarihçesi .....	15
3.2 Cam Hakkında Genel Bilgiler .....	17
3.2.1 Camın Özellikleri.....	17
3.2.2 Cam Malzemelerin Fiziksel Özellikleri.....	18
3.2.3 Cam Malzemelerin Kimyasal Özellikleri .....	19
3.2.4 Cam Malzemenin Mekanik Özellikleri.....	19
3.3 Cam Sanayisinin Ülkemizdeki Durumu.....	19
3.4 Cam Çeşitleri .....	22
3.4.1 Alümina-Silikat Camları.....	22
3.4.2 Silika Camı ( kuvars camı) .....	23
3.4.3 Soda- Kireç camı .....	23
3.4.4 Kurşun Camları.....	23
3.4.5 Borosilikat Camları.....	24
3.4.6 Silis Camları .....	24
3.5 Cam Kullanım Alanları .....	24
4. CAM ÜRETİMİ VE DELİK DELME .....	27
4.1 Cam Üretim Aşamaları.....	27
4.1.1 Cam Malzemenin Tavlanması .....	28
4.1.2 Cam Malzemenin Temperlenmesi .....	29
4.1.3 Cam Malzemede Delik Delme.....	30
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
5.1 Materyal.....	37
5.1.1 Deney Numunesi.....	37
5.1.2 Deney Numunelerinin Hazırlanması .....	37
5.1.3 Cam Delme İşleminde Kullanılan Makine .....	39
5.1.4 Cam Delme İçin Kullanılan Matkaplar.....	42



5.2	Yöntem .....	45
5.2.1	Deneylerin Yapılışı .....	45
5.2.2	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	46
6.	ELDE EDİLEN DENEYSEL SONUÇLAR .....	53
6.1	D1 Matkap Analizi .....	53
6.2	D2 Matkap Analizi .....	57
6.3	D3 Matkap Analizi .....	60
6.4	Matkap Ömürleri .....	60
7.	BULGULAR VE TARTIŞMA .....	66
8.	SONUÇ VE ÖNERİLER .....	67
9.	KAYNAKLAR.....	69
10.	ÖZGEÇMİŞ .....	74



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Kristal ve amorf yapılarda oluşan hacim değişimi. ....	15
Şekil 4.1. Deliğin ile cam kenarı arası mesafesi. ....	33
Şekil 4.2. Delikler arası mesafe. ....	33
Şekil 4.3. Cam malzemenin köşesinden deliğe olan mesafe. ....	33
Şekil 4.4. Camın pozisyonlanması ve sıkıştırılması. ....	34
Şekil 4.5. Alt matkabın hızlı yaklaşması. ....	35
Şekil 4.6. Alt matkabın cam içinde ilerlemesi. ....	35
Şekil 4.7. Üst matkabın hızla yaklaşması. ....	36
Şekil 4.8. Delme işleminin bitirilmesi. ....	36
Şekil 5.1. Delik delinen cam numuneleri. ....	38
Şekil 5.2. Cam delme makinesi. ....	39
Şekil 5.3. Camın delinmek üzere makineye verilmesi. ....	40
Şekil 5.4. Camların delinmesi. ....	41
Şekil 5.5. Camın vakumlanarak taşınması. ....	41
Şekil 5.6. Delinen camların konveyörde ilerlemesi. ....	42
Şekil 5.7. Matkap takımı. ....	43
Şekil 5.8. Düz cam delinmesinde kullanılan matkaplar. ....	44
Şekil 5.9. Matkap iç yüzü ve soğutma deliği. ....	45
Şekil 5.10. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu). ....	47
Şekil 5.11. SEM cihazı sonuç ekranı. ....	48
Şekil 5.12. EDS cihazı sonuç ekranı. ....	49
Şekil 5.13. Taramalı elektron mikroskop çalışma prensibi. ....	49
Şekil 5.14. Örnek bir numuneden alınan EDS görüntüsü. ....	52
Şekil 6.1. Matkapla delinmiş cam numunesi. ....	53
Şekil 6.2. D1 numunesi için 500 büyütme SEM görüntüsü. ....	54
Şekil 6.3. D1 numunesi için 250 büyütme SEM analizi. ....	54
Şekil 6.4. D1 numunesi için 100 büyütme SEM analizi. ....	55
Şekil 6.5. D1 numunesi için EDS görüntüsü. ....	56
Şekil 6.6. D1 numunesi EDS analiz grafiği. ....	56
Şekil 6.7. D2 numunesi için 500 büyütme SEM görüntüsü. ....	57
Şekil 6.8. D2 numunesi için 250 büyütme SEM analizi. ....	58
Şekil 6.9. D2 numunesi için 100 büyütme SEM analizi. ....	58
Şekil 6.10. D2 numunesi için EDS görüntüsü. ....	59
Şekil 6.11. D2 numunesi EDS analiz grafiği. ....	60
Şekil 6.12. D3 numunesi için 500 büyütme SEM görüntüsü. ....	61
Şekil 6.13. D3 numunesi için 250 büyütme SEM analizi. ....	61
Şekil 6.14. D3 numunesi için 100 büyütme SEM analizi. ....	62
Şekil 6.15. D3 numunesi için EDS görüntüsü. ....	63
Şekil 6.16. D3 numunesi EDS analiz grafiği. ....	63
Şekil 6.17. Matkap ömür değerleri. ....	64
Şekil 6.18. Matkapların bağ yapısında bulunan element oranları. ....	65

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 3.1.</b> Cam malzemelerin fiziksel özellikleri .	18
<b>Tablo 3.2.</b> Dünya cam ithalatı (1.000 ABD Doları).	21
<b>Tablo 3.3.</b> Dünya cam ihracatı (1.000 ABD Doları).	21
<b>Tablo 3.4.</b> Türkiye'nin ihracat yaptığı ülkeler (1.000 ABD Doları).	22
<b>Tablo 3.5.</b> Türkiye'nin ithalat yaptığı ülkeler (1.000 ABD Doları).	22
<b>Tablo 5.1.</b> Ø37,4 mm matkap takımı için devir, ilerleme ve cam kalınlığı değerleri.....	38
<b>Tablo 6.1.</b> D1 numunesi EDS analizi kimyasal kompozisyonu .....	57
<b>Tablo 6.2.</b> D2 numunesi EDS analizi kimyasal kompozisyon .....	60
<b>Tablo 6.3.</b> D3 numunesi EDS analizi kimyasal kompozisyonu .....	64

## KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

<b>°C</b>	: Celsius
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>Al</b>	: Alüminyum
<b>As<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Arsenik Trioksit
<b>B<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Bor Oksit veya Diboran Trioksit
<b>BaO</b>	: Baryum Oksit
<b>C</b>	: Karbon
<b>CaO</b>	: Kalsiyum Oksit veya Kireç
<b>Cl</b>	: Klor
<b>cm</b>	: Santimetre
<b>Co</b>	: Kobalt
<b>Cu</b>	: Bakır
<b>dak</b>	: Dakika
<b>dB</b>	: Desibel
<b>dev</b>	: Devir
<b>EDS</b>	: Energy Dispersive Spectroscopy
<b>Fe</b>	: Demir
<b>g</b>	: Gram
<b>ISO</b>	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı
<b>J</b>	: Joule
<b>K°</b>	: Kelvin
<b>K<sub>2</sub>O</b>	: Potasyum Oksit
<b>keV</b>	: Kilo Elektron Volt
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>KNO<sub>3</sub></b>	: Potasyum Nitrat
<b>kV</b>	: Kilovolt
<b>L</b>	: Camın Kalınlığı
<b>m</b>	: Metre
<b>m<sup>2</sup></b>	: Metrekare
<b>m<sup>3</sup></b>	: Metreküp
<b>MgCO<sub>3</sub></b>	: Magnezyum Karbonat
<b>MgO</b>	: Magnezyum Oksit veya Magnezya
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>MnO<sub>2</sub></b>	: Mangan Dioksit
<b>N</b>	: Newton
<b>N.m</b>	: Newton Metre
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	: Sodyum Oksit
<b>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	: Sülfür
<b>Ø</b>	: Çap
<b>Pa</b>	: Pascal
<b>rpm</b>	: Bir Dakikada Gerçekleşen Devir Sayısı
<b>s</b>	: Saniye
<b>SEM</b>	: Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>Si</b>	: Silisyum
<b>SiO<sub>2</sub></b>	: Silisyum Dioksit veya Silika
<b>SKS</b>	: Soda-Kireç-Silis
<b>Sn</b>	: Kalay

<b>t</b>	: Zaman
<b>W</b>	: Watt
<b>yy</b>	: Yüzyıl
<b>Zn</b>	: Çinko
<b><math>\delta</math></b>	: Poisson Oranı
<b><math>\theta</math></b>	: Açı
<b><math>\sigma</math></b>	: Gerilme
<b><math>\sigma_0</math></b>	: Başlangıç Gerilmesi
<b><math>\tau</math></b>	: Gerilme



## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanma sürecinde bana yardımcı olan, tecrübesini ve bilgisini benden eksik etmeyen değerli görüşlerinden yararlanma fırsatı bulduğum saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Yahya ALTUNPAK'a teşekkür ederim.

Tez hazırlama sürecinde bana yardımcı olan Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü araştırma görevlileri Habibullah BİLGE, Mehmet Fatih KAHRAMAN ve Bahadır AKKURT'a teşekkür ederim.

Ayrıca lisans ve yüksek lisans eğitimlerim süresince benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman bana destek olan aileme en içten dileklerle şükranlarımı sunarım.

# 1. GİRİŞ

Cam, amorf yapıya sahip bir katı malzemedir. Aşırı soğutulmuş toprak alkali ve bazı metal oksitlerin çözülmesi sonucu oluşan bir sıvıdır. Ana maddesi silistir ( $\text{SiO}_2$ ). Amorf yapıya sahip olmasından dolayı davranış açısından sıvı bir malzeme gibi davranır ve akış süresi çok uzundur. Aktarılan bu özelliklerinden dolayı cam sıvı madde olarak tanımlanabilir. Katı maddelerle kıyaslandığında net bir erime sıcaklığı yoktur (Karaağaç, 2017). Cam genel olarak sıvı davranış gösteren bir katı olarak tanımlanabilir. Cam üretim prosesinde hızlı soğuma ile birlikte kristal yapı yerine amorf yapı oluşur. Bu durum cama saydamlık ve sağlamlık verir.

Camın içyapısı ise katılarda olduğu gibi düzgün bir atom dizilişine sahip değildir. Cam oda sıcaklığında kırılıgandır, fakat sıcaklık yükselmesi ile birlikte önce yumuşama sonra akıcılık kazanır. Eğer yeterli ısı miktarı uygulanırsa cam malzemesi sıvı gibi akıcı olur. Cam tüm bu ilginç özelliklerinden dolayı ne tam bir sıvı ne de kristal yapıya sahip bir katıdır, iki durum arasında yer alan bir malzemedir.

Cam malzemesinin sertliğini arttırmak için sıvı halde soda, boraks vb. gibi bazı kimyasal maddeler eklenir. Camın karakteri soğuma hızına bağlı olarak oluşur. Cam üretiminde soğutma süresi önem arz etmektedir. Bununla birlikte endüstride çokça kullanılan camın üretiminin yanı sıra talaşlı işlenmesi de önemli bir konudur. İlk çağlarda süs eşyası olarak kullanılan cam, günümüzde beyaz eşya, astronomi, mikro elektronik, uçak ve mobil iletişim gibi birçok alanda tercih edilen bir ürün haline gelmiştir (Öztürk, 2014; Öztürk, 2018).

Teknolojinin gelişimiyle cam kullanımı yıllar geçtikçe artmaktadır. Günümüzde kullanılan camlar incelendiğinde, tonaj olarak en çok düz camın tercih edildiği anlaşılmaktadır. Düz camlar ise daha çok mobilya ve beyaz eşya endüstrisinde kullanılmaktadır.

Endüstride ve hayatımızda kullandığımız birçok malzemede istenilen şekil ve boyutları elde etmek için genel olarak talaşlı imalat yöntemi kullanılır. Talaşlı imalat yönteminde frezeleme, tornalama, broşlama, taşlama ve delme gibi talaş kaldırma yöntemleri mevcuttur. Bu çalışmada ise talaşlı imalat konusu olan delme işleminden

bahsedilmiştir. Delme işlemi cam üretiminde kritik öneme sahiptir. Düz camların çoğu delme işleminden geçmektedir. Cam malzemelerin delinmesi delme matkapları ile gerçekleştirilmektedir.

Son yıllarda düz cam üretimi hızla büyümüş ve üretim hızının düşürülmesi önemli hale gelmiştir. Cam ile yapılan imalat sürelerini azaltmak için delme takımlarının ömrünü arttırmak gerekmektedir. Camın delinmesi için kullanılan takımların tasarımı ve doğru malzeme seçimi üretim hızı ve takım ömrü açısından önemlidir. Delme takımlarının içinde bulunan bağlayıcılar yüksek yapışma ve sıcaklık dayanıma sahip olup takım ömrünü etkilemektedir. Delme parametrelerinin önemi kadar içyapının da önemi büyüktür.

Bu çalışmada, farklı içyapıya ve metalik bağa sahip delme takımları kullanılarak delme işlemi sonrası oluşan mikro yapı ve takım ömrü incelenmiştir. Deneyler endüstriyel ortamda üretim aşamasında gerçekleştirilmiştir. Delme işlemi sonrası yapılan incelemeler SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) cihazında yapılmıştır.



## 2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Cam genel olarak doğada kuvars veya obsidyen olarak bulunur. Obsidyen, volkanik patlamalar sonucu silikanın erimesiyle yıllar önceleri oluşmuştur. Bu malzeme yarı geçirgen bir madde olup kahverengi bir renge sahiptir. Yıllar öncesinde cam ürünleri bıçak, balta ve mızrak ucu yapımında kullanılmıştır (Megep, 2008). Renksiz ve saydam olarak doğada bulunan doğal cama kuvars denilir. Kuvars işlenmiş cam şeklinde bulunur. Kayaçlar içinde yer almaktadır ve mücevher yapımında kullanılan kristallerdir.

Cam genel olarak geçmişte daha çok Mısır ve Doğu Akdeniz’de görülmüştür. Cam malzeme rastlantı sonucu ortaya çıktığı tahmin edilmektedir. Fakat cam yapımı ne zaman ve nerede başladığı belli değildir. Bununla birlikte özellikle Anadolu Selçuklular zamanında bazı cam örneklerine rastlanmıştır. Selçuklulara ait kadeh, tabak, vazo, şişe vb. malzemeler cam sanatı açısından önem arz etmektedir. Bu eserler özellikle Kubadabad sarayı kazılarında ortaya çıkmıştır (Gök, 2004).

Cam birçok üstün fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı iletişim havacılık, beyaz eşya endüstrilerinde vb. uygulama alanı bulmaktadır. Düz cam üretimi dolayısıyla işlenmesi ve delinmesi son yirmi yılda hızlı bir şekilde arttı ve üretim hızları çok önemli hale geldi. Üretim zamanlarını azaltmak için yaygın bir çözüm, matkapların kullanım ömrünü arttırmaktır. Cam endüstrisinde delme işlemindeki ticari kısıtlamalar, üretim hızının yüksek ilerleme hızı ve kesme derinliği değerleri ile en üst düzeye çıkarılmasını gerektirir.

Günümüzde cam ile ilgili birçok araştırma yapılmaktadır. Bu çalışmalarla camın delinmesi, proses analizi, oluşan sıcaklık, takım ömrü, delme parametreleri ve etkileri, aşınma vb. konularda birçok çalışma yapılmıştır.

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 (Razfar vd., 2014; Sharma vd., 2019; Sharma vd., 2018; Li vd., 2018; Axinte, 2011; Hof vd., 2017; Zanutto vd., 2017;

Blank vd., 1999; Calvo vd., 2015; Cheng vd., 2014; Eker vd., 2016; Ergün vd., 2006; 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; Öcal vd., 2017; Özdemir vd., 2006; Özdoğan, 2003; Özgül, 2009; Öztürk, 2018; Persson, 1983; Reckens, 1998; Sakarya vd., 2017; Sayuti vd., 2011; Tezcan, 2011; Türkbaş vd., 2007; Tosun, 2013; Ünal, 2017; Yağmur vd., 2013; Yavuz vd., 2017;). Literatürde belirtilen çalışmalar gelişen tüketim miktarı ve teknoloji ile cam kullanımının hızlı bir şekilde arttığı ve cam işleminin önemli bir talaşlı imalat operasyonu olduğu görülmektedir. Cam işleminin hızlı ve doğru yapılması için gerekli olan şartların sağlanması rekabet gücünü arttırmaktadır. Bu amaçlara ulaşmak için kesme parametreleri optimize edilebilir veya matkap takımı iyileştirilebilir. Biz bu çalışmada matkap takımlarını iyileştirmeye çalışacağız. Bolu'da bulunan ve beyaz eşya sektörü için cam işleme yapan firmada kullanılan matkapları inceleyip içyapısını kendimizin oluşturduğu üç farklı matkap takımını bu çalışmada karşılaştırdık.

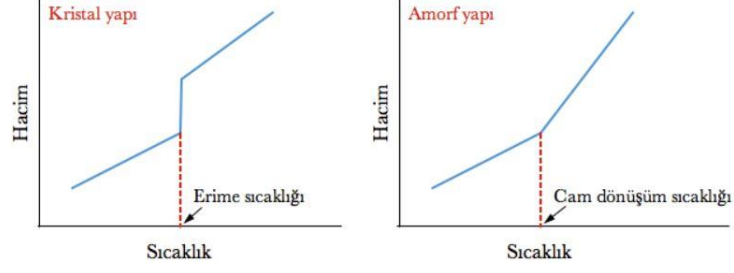
### 3. CAM

Camın temel maddesi silis ( $\text{SiO}_2$ ), genel olarak toprak alkali ve alkali metal oksitleri ile birlikte diğer farklı metal oksitlerin çözülmesinden oluşan bir sıvı malzemedir. Cam başka araştırmacı tarafından, erimiş durumdaki amorf hallerini koruyarak katılaştıran inorganik cisimler olarak tanımlanmıştır. Üretim aşamasında cam hızlı soğuyarak kristal yapı yerine amorf bir yapı halini alır (Ünal, 2017). Bir başka tanımda ise cam, amorf yapıda bulunan her katıyı kapsayan, sıvı halde ısıtıldığında cam geçişi sergileyen bir malzemedir (Zanotto ve Mauro, 2017). Camın geri dönüşümü kolay olup, aşırı sıcak ve soğukluğa dayanabilir. Piyasada en çok kullanılan cam türü soda kireç camıdır ve kolayca bulunabilmektedir. Soda kireç camı endüstride çokça tercih edilir. Farklı işlevsellikleri meydana getirdiği için birçok alanda kullanılmaktadır (Sayuti vd., 2011). Cam inorganik yapıda olup kırılmandır. Korozyon direnci yüksektir, aynı zamanda iyi bir sıcaklık kararlılığına sahiptir, ayrıca homojendir. Bu olumlu özelliklerinden dolayı yarı iletken endüstrisinde, optik endüstrisinde, askeri alanda ve buna benzer birçok endüstride yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Ayrıca elektron ve biyomedikal endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Fakat bu olumlu ve üstün özelliklerin yanında düşük mukavemet ve yüksek kırılma gibi bazı zayıf özellikleri de mevcuttur (Cheng vd., 2014).

Cam kristalleşmeye uğramadan direkt olarak katılaştır bu yüzden amorfur.

Katılma bir fazdan diğer bir faza geçiş demek olup, camın katılması gerçekleştiği anda sıvı fazındaki düzensiz yapılar korunmaktadır. Bunun sonucu olarak faz yapısında herhangi bir değişim yaşanmamaktadır. Cam için katılma olayı faz dönüşümü olarak değil de sıvı haldeki akışkanlığının sıcaklık azaldıkça kaybolması ile gerçekleşir.

Akışkanlık özelliğinin kaybolduğu noktaya cam dönüşüm sıcaklığı denir. Sıcaklık değişimine bağlı olarak kristal ve amorf yapıda bulunan katıların hacimlerdeki değişim Şekil 3.1'de verilmiştir. Kristalleşmenin olduğu katı malzemelerin katılma veya erime noktasında, ani bir hacim azalması oluşmaktadır. Cam bir malzeme katılaştığında atom düzeninde kesin bir değişim olmamasından dolayı hacmi azalır.



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

Dönüşüm sıcaklığı cam için erime sıcaklığından daha düşük seviyelerde oluşmaktadır. Bundan dolayı sıvı halin kristalleşme durumuna geçmemesi için soğuma hızlı yapılmalıdır.

### 3.1 Camın Tarihçesi

Cam malzemelerin dört bin sene öncelerine dayandığı tahmin edilmektedir. Cam eski zamanlarda soda ve kirecin kum ile birlikte ısıtılması ile oluşur. Bu malzeme sert ve pürüzsüzdür. Ayrıca cama bazı kimyasal maddeler belirli oranlar eklenmesi ile şeffaf cam malzeme elde edilir. İleriki yıllarda şekilli cam üretimine geçilmiştir. Eriyik haldeki cam tahta veya çamurdan yapılmış kalıplarla oluşturulur. İşlem bittikten sonra kalıplar sökülür ve şekilli cam malzemeler elde edilmiş olur. Aynı zamanda cam süsü eşyası olarak takı ve mücevher yapımında kullanılmıştır. Sonraki yıllarda ise, camın üflenerek üretimi bulunmuştur ve bu sayede cam üretiminde büyük artış yaşanmıştır. Renkli pencere camları Bizans döneminde kullanılmaya başlanmıştır ve İslam dünyasında da çokça kullanılmıştır. İstanbul'un fethedilmesi ile birlikte cam üretiminde artış yaşanmıştır. Hızlı gelişen ve çokça kullanılan cam, mozaığın yerini almıştır ve 19. Yy'dan itibaren mozaik kullanımı çok azalmıştır (Öcal vd., 2017).

Cam üretimine kullanılan başlıca yöntemler arasında iç kalıplama tekniği, indirme-çökertme tekniği, kalıba basma tekniği ve üfleme teknikleri sayılabilir. Yıllar boyunca gelişen teknikler ile cam endüstrisi gelişmiştir. Günümüzde ise benzer teknikler ile cam üretimi yapılmaktadır (Eker ve Eker, 2016).

Cumhuriyet ilanından sonraki yıllarda 1937 yılından itibaren cam üretilmeye başlanmıştır. İlk cam fabrikası ise Paşabahçe'de kurulan Türkiye Şişe ve Cam Fabrikalarıdır. Ayrıca özel şirketlere ait birçok cam üretim fabrikaları faaliyete girmiştir (Gürsoy ve Gürsoy, 2006).

İlk düz cam üretimi Almanya'da camın üfleme yöntemi kullanılarak silindirik bir biçimde açılması ve daha sonrasında silindirin kesilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonraları ise cam dairesel bir şekilde çevrilerek açılmıştır bu sayede kesilerek kullanılmıştır. 1700'lü yıllarda ise tabaka şeklinde cam üretimi daha hızlı gerçekleşmeye başlamıştır. Bu yöntemde ise erimiş cam malzeme bir masa üzerine dökülerek katılaştırılıp tabaka halinde kullanılmaya başlanmış ve üretim hızı artmıştır. Bu yöntemle birlikte cam yüzeyi pürüzsüz ve kaliteli hale gelmiştir. 19.Yüzyılın sonlarında ise cam malzemenin içine bazı elementler katılarak termal ve optik özellikler kazandırılmıştır.

Ernst Abbe adındaki bilim insanı yapmış olduğu çalışmalar neticesinde cam malzemenin optik ve termal özelliklerinin gelişiminde büyük rol oynamıştır. Alman bilim adamları tarafından ise cam üretimini hızlandıracak olan tank fırınları üretilmiştir. Ayrıca üfleme yöntemi ile cam şişe üretimi yapan makine geliştirilmiştir. Daha sonraları ise katmanlı cam üretimi yapılmış ve sürekli bir gelişme söz konusu olmuştur.

20. yüzyılda ise, camın endüstriyel bir malzeme olarak hayatımızın her alanında dâhil olmuştur. Bu kadar geniş alanda tercih edilen malzeme olmasının yanı sıra cam tasarım ve sanatsal üretim amacıyla da kullanılan bir malzemedir.

Günümüzde cam tasarımı söylendiğinde sanatsal faaliyetler akla gelmektedir. Diğer bir nokta ise cam üretiminde makine üretiminin geliştirilmesidir. El işçiliği yapılan camlar özgündür fakat daha pahalıdır. Makinede kullanılarak seri üretilen

camlarda ise ekonomiklik söz konusu olup sanatsal katkısı daha azdır. Günümüzde her iki üretim türüne de ihtiyaç vardır (Uçkan, 2008).

Günümüz teknolojisinde birçok çeşit cam üretilmektedir. En çok kullanılan cam çeşidi ise soda-kireç-silis camı (SKS) olarak adlandırılan pencere ve şişe camlarıdır. Günümüzde cam malzeme genel olarak gözlük camı, lensler, pencere camı, pişirme araç ve gereçleri, yalıtım maddeleri, televizyon tüpü, aydınlatma araç ve gereçleri olarak kullanılmaktadır (Yazar ve Aslan, 2013).

### **3.2 Cam Hakkında Genel Bilgiler**

Cam katıdır, amorf yapıya ve uzun düzen parametresine sahiptir, uygun maddelerin sıvı fazda hızlı soğutulması sonucu elde edilen, şeffaf, homojen ve kırılma yapıya sahiptir. Cam kimyasal olan birçok malzemeye karşı dirençli bir yapıya sahiptir. Camlar malzeme sıvı haldeyken kristal yapı oluşturmalarına izin verilmeden, cam geçiş sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa hızla soğutulması yöntemi ile üretilmektedir. Cam çok farklı özelliklere sahip değişik bir malzemedir. Eğer sıvı halde bulunan saf malzeme kristal yapı oluşumuna izin vermeden donma noktasından daha düşük bir sıcaklığa hızla soğutulabilirse oluşacak bu yeni yapıya aşırı soğumuş yapı adı verilir. Bu şekilde bir süreç uygulanırsa kristal yapı çekirdekleri oluşmadan aşırı soğumuş malzeme üretilmiş olur ( Yamane, Asahara 2000; Yüksel, 2007).

Cama ısı verildiği zaman yumuşar ve şekil verilebilirliği artar. 800-1000 °C arasındaki sıcaklık değerlerinde sıcak şekillendirme ile cam malzemeler şekillendirilebilir.

Camın dayanıklılığı kullanılmakta olan alüminyum ve silis oranıyla değişmektedir. Camın viskozitesi ısı verildiğinde kademeli olarak düşmekte ve soğutma yapıldığında ise artmaktadır (Gürsoy ve Gürsoy, 2006).

#### **3.2.1 Camın Özellikleri**

Cam malzemelerde erime noktası yoktur, ısı verildiğinde şekil verilebilir ve yaklaşık 500 °C'nin üzerinde yumuşamaya başlar ve 800–1300 °C arasında sıcak şekillendirme uygulanabilir.

### 3.2.2 Cam Malzemelerin Fiziksel Özellikleri

Cam malzemelerin yoğunlukları camın yapısındaki bileşenlerin cinsine ve oranına göre değişiklik göstermektedir. Camın özgül ağırlığı  $2.2-7.2 \text{ g/cm}^3$  arasında değişmektedir. Şişe ve pencere camların yoğunluğu  $2.3-2.6 \text{ g/cm}^3$  arasındadır. Kurşun içeren camlarda ise yoğunluk  $3-3.8 \text{ g/cm}^3$ 'tür (Felekoğlu, 2014).

Camın şekillenmesi açısından en belirleyici etken vizkozitedir. Vizkozite, cam malzemenin üretim aşamasındaki sıcaklığına bağlı olarak değişen bir özelliktir. Cam malzemede istenilen şekli elde ettikten sonra elde edilen şekli korumak için viskozitesinin yüksek olması gerekir (Aktas, 2014).

Cam malzemedeki sertlik ise 6–7 Mohs sertlik değerine sahiptir. Bu sertlik düzeydeki camlar iyi bir aşınma direncine sahiptir. Cam malzemenin yumuşama sıcaklığı ise  $500-600 \text{ }^\circ\text{C}$  arasındadır. Camların diğer bazı fiziksel özellikleri tablo 3,1'de gösterilmiştir:

**Tablo 3.1.** Cam malzemelerin fiziksel özellikleri (Felekoğlu, 2014).

Isı geçirimsizlik değeri	$K = 6 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ (tek cam) $K = 2.3 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 12 mm boşluklu çift cam
Termik iletkenlik katsayısı	$\lambda = 0.7-1.1 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ (pencere camı) $\lambda = 0.035 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ (cam yünü)
Termik genleşme katsayısı	$\alpha = 9.1 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}^\circ\text{C}$
Saydamlık	%80 - %98
Kırma indisi	Normal camda = 1.52 Kristal camda = 1.60
Ses tutuculuk değeri	$\beta = 30 \text{ db}$ (6 mm tek cam) $\beta = 32 \text{ db}$ (12 mm boşluklu 6 mm çift cam) $\beta = 45 \text{ db}$ (20 mm boşluklu 6 mm çift cam)

### 3.2.3 Cam Malzemelerin Kimyasal Özellikleri

Cam kimyasal olarak çoğu malzemelere karşı dayanıklıdır. Birtakım alkalik çözeltiler ve hidroflorik asit gibi maddeler cama etki ederler. Cam malzemenin elektrik iletkenliği elektrolitik türündendir. Elektrik akımının yüklü iyonlar tarafından taşınır. Cam malzemelerin elektrik iletkenliği çok düşük olup, sıcaklık yükselmesiyle artar. Bu nedenden camlar yüksek bir elektriksel dirence sahiptir.

Camın bir tarafından bakıldığında diğer tarafı net olarak görülüyorsa bu cama saydam denir. Bu saydamlığı camın amorf yapısı içinde bulunan dağılmış ve erimiş silisyum dioksit sağlar. Cam malzemeler yüksek saydamlığa sahiptir. Işığın cam içinden geçmesine geçirgenlik denir. Cam ışığı geçirir ve pencere camı olarak kullanılır. Cam malzemeler kırılmandır ve içerine eklenen kurşun oksitle kırılma indisleri artar (Kantur, 2009).

### 3.2.4 Cam Malzemenin Mekanik Özellikleri

Cam sünek olmadığı için şekil değişim özelliği yoktur ve kırılmandır. Gevrek malzemelerde olduğu gibi basma dayanımı iyidir. Cam malzemelerin basma dayanımı çekme dayanımından yaklaşık 15-20 kat daha fazladır. Camların kopma yükü: 2.103-9.103 N/m<sup>2</sup>. Camların Basıya karşı oluşturduğu direnç: 4.104-12.104 N/m<sup>2</sup>. Elastik modülü: 6.104-10.104 N/m<sup>2</sup>. Poisson oranı: 0.22'dir. İçeriğinde Alüminyum ve silis içeren camlar daha dayanıklıdır.

## 3.3 Cam Sanayisinin Ülkemizdeki Durumu

Cam endüstrisi kurulduğu ilk yıllardan itibaren gelişmeye devam etmiştir. 1960'lı yıllardan sonra ihracata başlayan bir sektör haline gelmiştir. 1980 yıllardan sonra Ar-Ge çalışmalarıyla birlikte teknolojik gelişmeler olmuş ve cam endüstrisi daha da gelişmiştir. 1990'lı yılların sonlarında ise Türkiye'deki Cam Sanayi bölgesel liderliğe uzanmıştır ve gelişimini devam ettirmiştir. Cam üretiminde en çok paya sahip maddeler; kum, soda, kuartz ve dolomit ve maddeleridir. Türkiye bu doğal maddeler açısından zengin bir yere sahiptir. Cam üretiminde kullanılan hammaddenin %98'i ülkemizde mevcuttur (Tobb, 2012). Cam üreten firmalar kendileri için uygun olan



özelliklerdeki camları elde etmek için çeşitli malzemeler tercih ederler. Günümüzde yapılan cam üretimlerinde genel olarak; %72 oranında silis, %15 oranında soda ve %13 oranında kalker kullanılmaktadır.

Cam sektöründe genel olarak ergitme teknolojisi kullanılmaktadır. Cam üretiminde enerji girdisi yüksektir. Ülkemizde cam malzeme üretimi ve işlenmesini yapan iki yüz üzerinde fabrika bulunmaktadır. Ülkemizde üretilen camın % 90'na yakını Türkiye'nin en büyük cam üretim fabrikası olan cam, cam mamulleri ve cam Türkiye Şişe ve Cam Sanayi gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde cam endüstrisinde genel olarak yeni teknolojiler tercih edilmektedir.

Dünyadaki cam üretim kapasitesi yaklaşık yıllık olarak 180 milyon tondur. Genel olarak yıllık %2-4 oranında kapasite artışı yaşanmaktadır. Toplam üretilen camların %29'u düz cam, %53'ü cam ambalaj, %2'si cam lifi, % 5'i cam ev eşyası ve %11'i diğer ürünlerdir. Dünyada 25 tane büyük cam fabrikası bulunmaktadır. Bu fabrikalardan 7 si ABD, 5'i Japonya, 4'ü Fransa, 3'ü İngiltere ve birer tanesi ise İsveç, Almanya, Endonezya, Belçika, İtalya ve Türkiye de bulunmaktadır. Dünyadaki toplam cam üretiminin % 34'ü Asya bölgesinde, %30'u Avrupa, %29'u ABD ve %7'si ise diğer bölgelerde gerçekleşmektedir.

Dünyadaki cam sektörü diğer küresel olan ekonomiler ile kıyaslandığında yılda %2 ile %4 arasında bir büyüme kaydetmiştir. Uluslararası rekabette cam fırınlarının büyüklüğü ve kapasite oranları önemlidir. Dünyadaki cam yatırımları daha çok Orta ve Doğu Avrupa ve Güneydoğu Asya ülkelerinde yapılmaktadır. Günümüzde düz ekran cam tüketimi hızla artmaktadır (Tobb, 2012).

Türkiye'de cam üretimi yaklaşık 3.5 milyon tondur. 2016 yılı veri verilerine göre Türkiye'nin cam ihracatı 953 milyon ABD doları ve ithalatı ise 799 milyon ABD dolarıdır. Günümüzde cam sektörü %6,3'lük bir pazar payına sahiptir. 2010 yılı verilerine göre, dünya cam ve cam mamulleri ithalatında ilk üç ülke ABD, Almanya ve Çin'dir; Çin, Almanya ve Japonya ise en çok ihracat yapan ihracat ülkelerdir (tablo 3.2 ve 3.3).

**Tablo 3.2.** Dünya cam ithalatı (1.000 ABD Doları).

İTHALATÇI ÜLKELER	2006	2007	2008	2009	2010
ABD	6.131.551	6.241.729	5.970.370	4.641.642	5.733.046
ALMANYA	4.048.255	4.634.814	5.225.533	4.662.327	5.207.835
ÇİN	2.963.061	3.273.327	3.420.011	3.028.610	4.881.881
FRANSA	3.033.371	3.757.049	4.072.771	3.250.827	3.537.051
GÜNEY KORE	2.146.534	2.468.773	2.559.946	2.454.535	3.287.004
TAYVAN	1.647.633	1.845.805	2.053.832	1.692.026	2.673.862
JAPONYA	2.229.246	2.200.334	2.521.468	1.918.551	2.359.855
İNGİLTERE	1.977.558	2.374.406	2.385.264	1.843.054	2.155.860

**Tablo 3.3.** Dünya cam ihracatı (1.000 ABD Doları).

İHRACATÇI ÜLKELER	2006	2007	2008	2009	2010
ÇİN	5.625.396	7.249.836	9.069.697	7.597.086	10.327.013
ALMANYA	5.760.477	6.436.850	6.891.341	5.866.712	6.582.033
JAPONYA	3.950.143	4.136.110	4.683.044	4.503.737	6.519.468
ABD	4.445.368	4.829.428	5.088.109	4.144.818	4.983.824
FRANSA	3.705.605	4.245.305	4.281.094	3.265.211	3.478.636
İTALYA	2.673.433	3.106.510	3.247.450	2.511.027	2.758.793
BELÇİKA	2.902.033	3.385.149	3.488.591	2.603.216	2.629.203
ÇEK CUMHURİYETİ	1.874.721	2.084.452	2.185.578	1.620.828	1.742.852

Türkiye'deki cam sanayisi başta düz cam, sofrta ve süs eşyası ve fiberler ihraç etmektedir. 2011 yılındaki verilere göre en çok ihracat yapılan ülkeler Almanya, İtalya ve İngiltere'dir (tablo 3.4). Ülkemizin cam ithalat oranlarına baktığımızda (tablo 3.5) ise; en çok ithalatın Çin, Almanya ve Fransa'dan yapıldığı görülmektedir. Çin'in ihracatı bütün dünya ülkelerine fazla olmasının sebebi maliyet ucuzluğudur. Diğer ithalat yapılan ülkeler ise Avrupa ülkeleridir. İleri teknolojiler kullanılarak cam işlenerek ülkemizin ihracatı arttırılabilir.

**Tablo 3.4.** Türkiye'nin ihracat yaptığı ülkeler (1.000 ABD Doları).

İTHALATÇILAR	2006	2007	2008	2009	2010	2011
ALMANYA	54.277	69.538	100.610	72.286	88.348	96.616
İTALYA	52.059	66.490	77.651	58.418	59.697	66.658
İNGİLTERE	54.536	68.764	58.289	49.542	56.760	60.802
İRAN	33.575	42.682	49.132	53.603	56.372	48.378
FRANSA	27.851	38.973	47.665	47.748	52.087	58.245
IRAK	15.410	16.902	30.633	31.929	33.802	49.561
ABD	34.462	38.241	33.822	26.596	30.662	31.776
İSPANYA	24.293	25.363	34.973	25.675	29.287	32.962

**Tablo 3.5.** Türkiye'nin ithalat yaptığı ülkeler (1.000 ABD Doları).

İHRACATÇILAR	2006	2007	2008	2009	2010	2011
ÇİN	73.504	110.282	133.13	112.906	168.722	220.866
ALMANYA	62.233	59.033	63.146	52.371	59.95	73.395
FRANSA	50.748	47.532	41.49	48.711	38.488	63.412
İTALYA	32.149	43.514	45.934	33.914	38.409	41.907
ROMANYA	3.067	11.058	13.329	16.346	31.957	19.713
BELÇİKA	22.305	33.455	32.297	22.054	28.061	34.253
ABD	14.963	21.857	22.726	14.171	24.35	26.328
İSPANYA	14.657	13.188	13.878	10.997	20.168	17.306

Avrupa ülkelerinden başka ABD'ye hem ihracat hem de ithalat yapılmaktadır. Özellikle Avrupa ve Asya piyasalarına ihracat potansiyeli mevcuttur.

### 3.4 Cam Çeşitleri

Cam ürünlerinin çok farklı çeşitleri mevcuttur. Camın kullanım alanları ile camın genel özellikleri arasında ilişki vardır. Cam ürünlerinin yapısında az veya çok miktarlarda SiO<sub>2</sub> kullanılmaktadır. Bu nedenden dolayı bu cam tiplerine silikat camlar denmektedir. Bu camları kimyasal bileşimlerine göre sınıflandırabiliriz.

#### 3.4.1 Alümina-Silikat Camları

Bu tür camlar alümin, az miktarda bor maddesi, kireç ve alkali maddeler içerirler. Üretimleri zor olup daha çok alev ile direkt temas eden her çeşit parçaların yapımında, yüksek güç bulduran elektronik tüp malzemelerde kullanılmaktadır (Ünal, 2017). Üretimdeki önemli nokta ise camın dilatasyon katsayısının küçük olması

yanı zamanda yumuşama noktasının yüksek olması istenmektedir. Bu özellikler ise yük dengesizliğinin kaldırılmasıyla sağlanır. Bu cam tipleri yüksek güç gereken elektronik tüp benzeri malzemelerde tercih edilmektedir ve üretimi zordur.  $(SiO_4)^4-$  yapısında, Al +3 yüklü olan iyon Si iyonu yerine geçer, daha sonra yük dengesizliğinin giderilmesi ile yüksek sıcaklığa dayanıklı ve kimyasal kararlılığı yüksek camlar üretilebilir (Martin, 2005; Kocadağ, 2005).

### **3.4.2 Silika Camı ( kuvars camı)**

Silika camın içerisinde yüksek oranda  $SiO_2$  vardır. Yoğunluğu ve Isıl genleşme katsayısı düşüktür. Mukavemetinin ve kimyasal dayanımını yüksek olması nedeni ile laboratuvar malzemeleri ve lazer reflektörü gibi malzemelerin yapımında sıklıkla kullanılmaktadır. Yüksek dayanıma sahip olmasının temel nedeni içeriğindeki Si-O bağlarının kuvvetli oluşudur (Kocadağ, 2005; Yılmaz, 2008).

### **3.4.3 Soda- Kireç camı**

Soda- Kireç camları % 15  $Na_2O$ , % 10  $CaO$ , % 5  $K_2O$  % 70  $SiO_2$  atomları bulunan ve dünyada en fazla üretilen ve ticari olarak camların çoğunluğunu oluşturmaktadır. Genellikle mutfak ürünleri, düz cam, ampul üretimi gibi alanlarda kullanılır.  $SiO_2$ 'nin kolay bulunması ve cam yapma özelliğinin iyi olmasından dolayı çokça kullanılmaktadır (Demirkesen, 1992).

### **3.4.4 Kurşun Camları**

Bu tür camlara kristal cam da denmektedir. İçerisinde yaklaşık %80 oranında kurşun oksit bulundurmaktadır. Kurşun oksit ilavesi ile malzemenin erime noktası düşürülmektedir. Yumuşama noktasını ise  $CaO$  bulunduran camlardan daha düşüktür. Kurşun ilavesiyle malzeme daha kolay işlenebilmekte, ayrıca ışığı yayma ve yansıtma yapabilmektedir. Bu tür camların fiyatları diğer camlara göre biraz daha yüksektir. Bu camların yerine baryum oksitli cam malzemeler de kullanılmaktadır (Ünal, 2017). Kullanım alanı olarak ise el sanatları camcılığında ve dekoratif amaçlı cam üretiminde tercih edilmektedir.

### 3.4.5 Borosilikat Camları

Bu camlar asit ve sulara karşı iyi dayanım gösterirler, yumuşama noktası düşük değildir, ayrıca bu tür camlar teknik camlar olarak tercih edilmektedir. Boro-silikat camların bileşik özellikleri % 70-80 SiO<sub>2</sub>, % 10-25 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 1-4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 4-5 Na<sub>2</sub>O şeklindedir. Yarı kararlı faz ayrışması oluşturan Bor-Silikat camları aynı zamanda alkali içerir. Astronomide kullanılan aynalar, mutfak eşyaları üretiminde, yüksek sıcaklık ölçen termometrelerde ve laboratuvar camlarında sıkça kullanılır. Silika camına bor silikat eklenerek üretilir (Callister, 2007).

### 3.4.6 Silis Camları

%96 oranında SiO<sub>2</sub> içeren bu cam çeşitleri presleme ve üfleme metotları ile şekillendirilmektedir. Saydamlığı fazla olduğu için ultraviyole ışınlarını geçirmektedir. Bundan dolayı mikropların etkisiz hale getirildiği durumlarda ultraviyole lambaların yapımında kullanılmaktadırlar. Bu tür camların üretilip ve şekillendirilmesi için yaklaşık 1750 °C sıcaklık gerekmektedir.

İşte bu sebepten üretilecek malzemelerin boyutları ve şekilleri sınırlıdır. Elektrik iletimi yoktur, bu önemli bir özelliktir. Fakat fiyatı yüksek olduğundan elektrik uygulamalarında sınırlı olarak kullanılır.

## 3.5 Cam Kullanım Alanları

Günümüzde cam ürünleri çeşitli alanlarda çokça kullanılan yapı malzemeleridir. Camlar farklı çeşit, biçim ve özelliklere sahiptirler. Bu cam çeşitleri şu şekilde sıralanabilir; levha camlar, düz cam ürünleri, cam lifler, cam köpüğü, cam mozaikler, cam duvar ve U profil şeklindeki camlar (Ünal, 2017).

Düz camlar çekme yöntemi ile üretilir ve ticari ismi pencere camıdır. Bu tür camların ışık geçirgenliği çok iyidir. Bu yüzden görüş kapasitesi iyidir. Bu camların birçoğu pencere camları veya temperlenmiş cam olarak üretim yapılmaktadır. Düz camlar beyaz eşya sektöründe de çokça kullanılmaktadır.

Düz camlara matlaştırma yapılarak mat camlar oluşturulur. Cam malzemesinin yüzeyleri pürüzlü hale getirilir bu sayede camın saydamlığına zarar verildiğinden camın arka kısmı görünmez. Işık geçirgenliği azaltılarak üretim yapılmış olur. Birçok endüstriyel üretim aşamalarında tercih edilir.

Kristal camlar ise kurşun oksit içerirler, pahalıdırlar, kurşun oksit ilavesi ile cam sertliği azaltılır. Bu tür camlar ise daha çok ayna veya süs eşyası olarak kullanılır.

Flot camlar ise, levha halindeki camın erimiş kalay üstünden yüzdürme yöntemi ile geçirilerek elde edilmektedir. Bu tür cam malzemenin her iki yüzeyi birbirlerine paraleldir ve dalgasız olduğundan ayna üretiminde kullanılmaktadır.

Silindirme ve dökme metotları ile şekillendirilen camlara empire camlar denir. Bu cam türleri ise dekoratif amaçlı kullanılırlar ve cam hamurunun üstünden, metal bir silindir malzemenin geçmesi ile girinti ve çıkıntı şeklinde desenler bulunan cam çeşididir.

Güvenlik camları ise görünmesini istediğimiz durumlarda kullanılır, temperli olduklarından parçalandıklarında keskin parçalar oluşturmazlar. Ayrıca cam malzeme ile yapılmış duvar tuğlaları da hayatımızda kullanılmaktadır. Bu cam türleri ışığı geçirme özelliğine sahiptir ve duvarı gibi olacak şekilde üretilen cam türleridir. Bu tür cam malzeme üretimi için presleme yapılır, daha sonra iki tane yarı cam tuğlası kenar kısımlarından birbirlerine yapıştırılır. İki cam arasında kalan hava ile iyi bir yalıtım özelliği kazanmış olur. Bu malzemenin üzerine yapılacak olan resim ve şekillerle farklı ısı geçirgenliği olan cam duvar tuğlaları üretilir.

Cam malzemeler yüksek basınç dayanımına sahiptir, bu nedenle eğimli olan yapılarda ışık geçimi amaçlı kullanılırlar. Ayrıca cam çatıların örtülmesi için kullanılan kiremitler ve ondüler yerine bu tür camlar tercih edilmektedir. Bu sayede enerji tasarrufu da sağlanabilmektedir.

Genel olarak duvarların ve döşemelerin kaplamasında kullanılan malzemelerin başında cam mozaik malzemeler gelmektedir. Işınları düşük miktarda geçirdiği ve görüntü oluşturmadığı için kaplama malzemesi olarak tercih edilmektedir. Cam

malzemenin içine antimon oksit veya kriyolit ilave edilerek cam mat bir duruma geçer. Mozaik kaplama işlemi genel olarak dış ortamdan korumak için kullanılmaktadır.

Camların başka kullanım alanı ise liflerdir. Cam malzemenin lif şeklini alması sesleri emme ve ısı yalıtımı sağlama özelliği kazanmış olur. Cam liflerin ısı iletim katsayısı camlara göre düşmektedir. Bu cam türlerinin kullanım alanları ise genel olarak roketlerin, uçakların ve tankların imal edilmesinde, ayrıca cerrahların maskelerin imalatındadır.

Bir diğer cam malzeme türü ise cam köpüklerdir. Bu malzemeler kömürün gaz çıkarmaya başladığı anda camın kapalı olan hücrelerinden oluşan köpük durumuna gelmesidir. Bu tür malzemeler yalıtım yapılan ortamlarda kullanılır. Cam köpükler birçok özelliğe sahiptir. Bunların arasında hafiflik, yanmama, yangın alevi geçirmeme, kimyasal etkilere dayanım ve işlenebilirlik sayılabilir.

## 4. CAM ÜRETİMİ VE DELİK DELME

### 4.1 Cam Üretim Aşamaları

Camların üretimi genel olarak beş kısımda gerçekleşir. İlk etapta ergimiş olan camlar ortaya çıkarılır, daha sonra cama şekil verilir. Bu işlemlerden ayrı olarak parlatma, taşlama, kesme ve delme işlemleri yapılmaktadır.

Camın bileşiminde olan temel maddeler ilk önce içinde bulunan yabancı maddelerden ayrılması için öğütülür. Ayrışan malzemeler ergitme fırınlarında ergitilir. Eritme fırınların imalatında zirkon ve silis gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı refrakter malzemeler kullanılır. Genel olarak fırınlar havuzlu ve potalı fırınlar olarak ikiye ayrılır. Üretilecek cam miktarı yüksekse havuz fırınları tercih edilir. Cam çeşitleri fazla olup camların miktarları düşük seviyede ise üretim için potalı fırınlar tercih edilir. Bu fırınların kapasiteleri ise yaklaşık olarak 2 ton civarındadır.

Cam şekillendirme yöntemleri mühendislik ve geleneksel seramik malzemelere göre oldukça farklıdır. Cam işlenmesinde, temel malzeme olarak silika kullanılır, camsı bir yapı elde etmek için oksit seramikleri eklenir.

Cam şekillendirmesinde sert ve katı olan başlangıç malzemesi ısıtılarak viskoz sıvıya dönüştürülür. Cam malzemenin sıvı halde iken şekillendirilir. Soğuma ve katılaşma sonrası ise kristal yerine amorf bir yapı oluşur. Camın ana bileşeni silikadır ve kaynak maddesi ise kumdur. İstenilen özelliklere göre başka bileşenler eklenmektedir. Cam malzemenin viskozitesi sıcaklık ile ters orantılıdır.

Camın dayanımı yüzeylerde oluşan ön bası gerilmeleri kadar artar. Temperleme işlemiyle camda oluşması istenen özellikler ise; camın istenilen dayanıma sahip olması, var olan optik kabiliyetini yitirmemesi, kırıldığı zaman çok küçük parçalara ayrılması, eğri veya dalgalanma oluşmamasıdır. Temperli camlar tempersiz camlara göre daha dayanıklıdır, bunun nedeni ise temperli camların daha fazla yüzey sıkıştırma gerilimine sahip olmasıdır. Temperli camlar yüzeye gelen bir darbe ve kuvvet ile hemen kırılmaz.



Camın biçimlendirilmesi önemli bir işlemdir. İlk önce hammaddeler hazırlanır, eritilir ve hamur haline gelen cam şekillendirilir. Bu şekillendirme metotları ise; Çekme, üfleme, dökme ve silindirme, köpük durumuna getirme, lif durumuna getirme, presleme ve yüzdürme metotlarıdır.

Cam işlendikten sonra ısı işleme tabi tutulabilir. Bu işlemler tavlama ve temperleme yöntemleridir. Bu işlemlerle cama yumuşaklık veya gerilme yüklemesi yapılabilir. Tüm bu işlemler sıcaklıkla yapılır. Bu iki işlemin bilinmesi cam şekillendirilmenin anlaşılması açısından önemlidir.

#### **4.1.1 Cam Malzemenin Tavlama**

Tavlama işleminin amacı üretim sırasında cam malzeme soğurken oluşan iç gerilmeleri ortadan kaldırmaktır. Üstten ısıtılarak kanalın içerisinde devamlı olarak akan cam tekrardan ısıtılır ve malzemenin içindeki iç gerilmeleri gidinceye kadar beklenir. Yapılan bu işlemden sonra yavaş soğutma yapılarak tavlama işlemi bitirilir.

Uygulanan tavlama sıcaklığı yaklaşık 480-500 °C arasındadır. Metallerde olduğu gibi cam işlenmesinde de tavlama işlemi önemlidir. Cam malzemenin şekillendirilmesi belli sıcaklıkta ve akışkan durumdayken yapılır. Camın kullanılabilir hale gelmesi için ise soğuk ve sert olması gerekmektedir. Bu yapıyı elde etmek için camın bu sıcaklıktan oda sıcaklığına kadar soğuma gerekir. Eğer önlem alınmadan soğutma işlemi yapılırsa cam malzemenin yapısında bozulma ve kırılmalar meydana gelebilir. Bunu sebebi ise camın içinde bulunan iç gerilmelerdir. Bu meydana gelen iç gerilmeleri ortadan kaldırmak için şekillendirme sonrası tavlama yapılır.

Tavlama işlemi sırasında yapılacak soğutma işlemi kontrollü olmalıdır ve ısıtmayı da gereksinim duyulur. Tavlama işlemini bazı faktörler etkilemektedir. Bunlar ise; şekillendirme yöntemi, ürün tipi, cam kalınlığı, genleşme özellikleri, kompozisyon vb. faktörlerdir.

Dönüşüm bölgesi üzerindeki sıcaklıktan soğutulan bir cam malzemedeki gerilme oluşur. Bu oluşan gerilme kontrol edilemezse cam malzeme çatlar ve iç gerilmelerden

dolayı dağılır. Bu nedenden dolayı üretim sonrası soğutma işlemi kontrollü yapılmalı ve cam malzeme için tavlama yapılmalıdır. Sıcaklık değişimiyle camda iki farklı gerilme oluşur. Bunlardan birincisi sıcaklık farklılığı sürdüğü müddetçe devam eden gerilmedir. Bu tip gerilme, düşük sıcaklıklarda sıcaklık farkının ortadan kaldırıldığında kaybolan geçici gerilmedir. İkinci tip gerilme ise sıcaklık farkının olmamasına rağmen varlığını sürdürmekte olan gerilmedir. Bu gerilme ise kalıcı gerilme olarak tanımlanır. Kalıcı gerilme genel olarak cam malzemenin iç yüzeyde çekme şeklinde, dış yüzeyde ise baskı şeklinde oluşur.

Tavlama için kullanılan sıcaklık değerinin üstündeki sıcaklıklarda cam içinde herhangi bir gerilme oluşmaz. Bunun nedeni ise, bu gerilmenin viskoz akma ile ortadan kalkmasıdır. Eğer soğutma işlemi viskozitenin yüksek olduğu bir noktadan başlarsa gerilmeler tamamen giderilemez. Bu durumda yüzeyde oluşan küçük bir çekme gerilmesine karşın iç bölgede oluşan gerilmeyi dengeleyecek basma gerilmesi oluşur (Persson, 1983).

Soğutma işlemi tamamlandıktan sonra soğutma hızı camdaki mevcut gerilme seviyesini etkilemeden arttırabilir. Kalıcı gerilme ise sadece tavlama bölgesinde oluşan soğutma hızları ile belirlenebilir (Kaner, 2008).

Viskoz akma ile rahatlamış olan cam malzeme içinde kalan gerilmeye tersinir gerilme denir. Kalıcı gerilmeler ise soğuma hızına bağlı olarak artış gösterir. Aynı soğutma hızı değerinde bu tarz gerilmeler, başlangıç sıcaklığı ile referans sıcaklık arasındaki fark arttıkça artmaktadır.

#### **4.1.2 Cam Malzemenin Temperlenmesi**

Plastik özelliğe geçiş sıcaklığın üzerindeki sıcaklıkta camın yüzeylerine hava üflenerek hızlı bir soğutma yapılmasına temperleme denir. Soğuma işlemiyle birlikte dış yüzey soğur ve kendini çekerek katılaşıyor bu andan itibaren iç bölge halen plastiktir ve dış bölgeye uyar. Camın iç tarafı soğutulduğunda kendini çekme oluşur fakat camın dış tarafı bu duruma uyum sağlayamayacağından iç gerilmeler oluşur. Yüzeyde olan gerilmeler basma, iç kısımdakiler ise çekme karakterlidir. Temperlenmiş cam

yüzeyinde bulunan artık basma gerilmeleri cam için bir avantaj olabilir, camın kırılmaya ve çekme gerilmelerine karşı daha fazla direnç göstermesini sağlar (Groover, 2007). Bu sayede camın basınca, darbeye ve ısıya karşı mukavemeti yükseltilmiş olur.

Temperlenmiş cama delme ve kesme gibi işlemler uygulanmaz. Bunun nedeni ise, temperleme işlemi cam için son aşama olmasındandır (Akçay vd., 2014). Temperleme işlemi ile mekanik dayanımda artmaktadır. Camın yapısı kristal bir yapı değildir. Cam malzeme gerilmelerle karşılaşmadığında izotropik bir yapıya sahiptir.

### **4.1.3 Cam Malzemedeki Delik Delme**

Cam malzemesi şekillendirme işlemlerinden sonra bitirme işlemlerine tabi tutulur. Bu işlemler genel olarak delme, kesme, taşlama ve parlatmadır. Levha şeklindeki cam malzemeler genel olarak yüzeydeki hata ve çizikleri kaldırmak ve iki yüzeyin paralel hale gelmesini sağlamak için taşlama ve parlatma işlemine tabi tutulur.

Delme işlemi sonrası delik kenarlarında kötü yüzey ve çatlama oluşmaması için cam malzeme iki taraftan baskı plakaları ile sıkıştırılır. Baskı plakaları camı çizmemek için plastik malzemedен üretilmiştir. Delme işleminden önce cam konveyöre verilir ve gönyeleme işlemi yapılır (Harmancı, 2018).

Delme işleminde istenilen yüzey kalitesini elde etmek için sadece kullanılan kesici takım değil, delme işlemi için kullanılan takım tezgâhlarının tasarım ve imalatı amaca uygun olarak yapılmalıdır. Takım tezgâhlarının üzerinde bulunan takımlar ve aparatları tezgâhın rijit durumunu bozmadan taşıyabilmelidir. Delme işlemini gerçekleştiren matkap takımlar yeni bir delme işlemini gerçekleştirmek delme konumlarına hızlı bir şekilde dönerler. Delme matkapların uç kısmında küçük suni elmas parçacıkları ile emdirilmiş aşınma parçacıkları mevcuttur. Delme işlemi için çaplara göre uygun ilerleme ve devir seçilmelidir.

Tezgâh delme işlemi yaparken matkaba gelen kesme kuvvetlerinin etkisi ile tezgâh parçaları rijit durumunu muhafaza etmeli ve deformasyona uğramamalıdır. Hareket eden parçaların aşınmaması sayesinde takım tezgâhının ömre uzun olur.

Matkaba gelen kesme kuvvetlerinin karşılanması için matkap dayanım özelliklerinin iyi araştırılması gerekir (Korkut ve Dönertaş, 2003).

Delme ve tüm talaşlı imalat işlemlerinde işlenen yüzeyler talaş kaldırma parametrelerinden etkilenmektedir. Uygun olarak belirlenmeyen kesme parametreleri kesici takımların ve matkapların hızlı bir şekilde kırılmasına ve aşınmasına neden olur. Ayrıca iş parçasında istenen yüzey kalitesi değerlerine ulaşamaz (Habalı vd., 2006).

Delik delmenin talaşlı imalat yöntemleri arasındaki yeri çok özeldir. Delik delme sırasında bazı olumsuzluklar da yaşanabilir. Bu olumsuzluklar ise; aksel kaçıklık, çapak oluşumu, yüzey pürüzlülüğü, matkabın aşınması ve dairesellik gibi istenmeyen durumlardır. Bu durumlar hem maliyeti hem de ürün kalitesini etkiler. Bu istenmeyen durumların ortadan kaldırılması ve makine parçalarının birbirleri ile hassas çalışmaları istenmektedir. Sonuç olarak optimum kesme ve delme parametrelerinin belirlenmesi ile hassasiyet, verimlilik ve yüzey kalitesi artar (Bayraktar vd., 2017).

Delik delme işlemi, tüm talaş kaldırma işlemlerinin yaklaşık üçte birlik kısmını oluşturmaktadır. Delik delme işlemi genel olarak son işlem olarak tercih edilmektedir. Delik delme işlemi ekonomik ve basit olduğundan günümüzde yaygın olarak tercih edilmektedir (Tönshoff vd., 1994). Delik delme işlemi sırasında karmaşık mekanik oluşumlar meydana gelir. Ayrıca delme işlemi için uygun olan kesme parametreleri çoklu regresyon ve diğer istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak bulunur (Karaca, 2016).

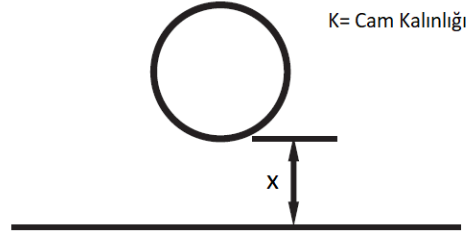
Delik delme işleminde talaşın kırılması ve talaşın boşaltımı önem arz etmektedir, talaş hızlı bir şekilde takımı terk etmelidir. Delik derinliği ne kadar uzun olursa delme işlemini kontrol etmek o kadar zorlaşır. Delik delme esnasında oluşan talaş ortaya çıkan kesme kuvvetlerini, kesmenin sıcaklığını ve delik yüzey kalitesini etkiler. Kesme hızı ve ilerleme değeri talaşlı imalat yöntemlerinde olduğu gibi delik delme işlemlerinde de önemli yere sahiptir. Bunun nedeni ise bu parametrelerin matkap performansını etkilemesidir (Yağmur vd., 2013).

Cam malzemenin delinmesi ise birçok yöntemle yapılabilir. Delme işlemleri genel olarak; su jeti ile kesim, lazer kesim, aşındırıcı su jeti ile kesim vb. metotlardır.

Bu çalışmada ise düz camın delinmesinde kullanılan matkap takımları incelenecektir. Düz camlar delme işleminden önce istenilen ölçülerde kesilirler. Endüstriyel üretimin yapıldığı ve camın kullanıldığı birçok alanda cam kesme teknolojisi kullanılır. Cam malzeme kırılğan ve gevrek bir yapıya sahiptir, bu nedenden dolayı delik delme işlemi metallerde olduğu gibi tek bir yüzeyden ilerleyerek yapılamaz. Eğer cam tek bir matkap ile delinmek istenirse matkabın ucu cam malzemenin diğer tarafından çıkar ve cam malzemeyi patlatır. Bu patlama sonucu cam malzemenin şekli bozulur. Bu sorunların yaşanmaması için yapılacak şey camı iki taraflı delme işlemi yapmaktır. Delme işlemleri esnasında, cam ile delme matkabı arasında sürtünmeden dolayı aşırı bir ısı oluşur.

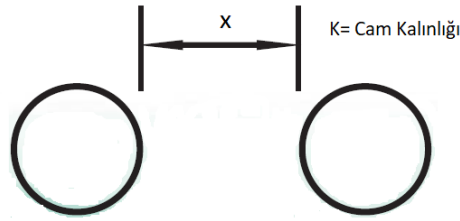
Bu ısyı azaltmak ve delme matkabının deforme olmaması için işlem anında soğutucu kullanılır. Bu soğutma işlemi ile matkap malzemesinde ısınma önlenir ve oluşan talaşlar delme bölgesinden uzaklaştırılır. Cam delme matkaplarının çoğunun uç merkezinde soğutma suyu kanalları bulunur. Pompalar vasıtası ile su basılarak soğutma işlemi gerçekleştirir.

Temperleme ve tavlama işlemleri sırasında cam üzerinde bulunan delikler sorun oluşturmaktadır. Deliklerin iç kenarları deliğin çevresindeki cam kütlesinden daha fazla genleşir. Cam malzemenin kenarına yakın bir delik varsa çekme gerilimi oluşur (Şekil 4.1). Delik kenarında var olan küçük çatlaklar camın kırılmasına veya çatlamasına neden olur. Bu nedenlerden dolayı delik kenarlarını pürüzsüz ve çapaksız olmalıdır. Ancak bu durumda soğutma esnasında oluşacak kırılmalar azalır. Cam açılan deliklerin kırılma ihtimalinin azaltılması için deliklerin diğer deliklere, kenarlara ve köşelere olan mesafeleri belli değerde olmalıdır. Delinecek deliğin çapı cam kalınlığından daha büyük olmalıdır. Delik ile cam malzemenin kenarı arasındaki mesafe cam kalınlığının iki katından fazla olması tercih edilir ( $x \geq 2K$ ) (Şekil 4.2).



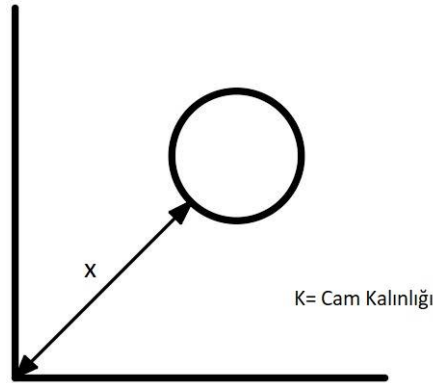
**Şekil 4.1.** Deliğin ile cam kenarı arası mesafesi.

İki delik arasındaki mesafe camın kalınlığının iki katından fazla olmalıdır ( $x \geq 2K$ ).



**Şekil 4.2.** Delikler arası mesafe.

Camın köşe kenarından deliğin kenarı arasındaki mesafe cam kalınlığının dört katından az olmamalıdır ( $x \geq 4K$ ) (Şekil 4.3). Ayrıca delik kenarı ile cam malzemesi kenarı arasındaki mesafe, en küçük delik çapı kadar olmalıdır.



**Şekil 4.3.** Cam malzemenin köşesinden deliğe olan mesafe.

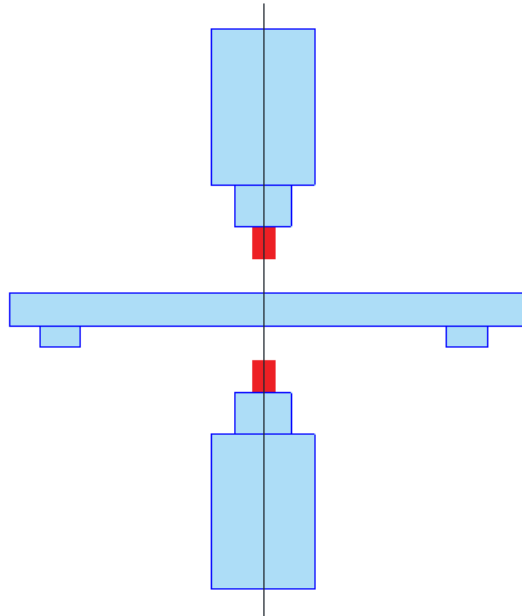
Deneylerde kullanılan makinelerde cam yatay konumda iken delme işlemi yapılmaktadır. Cam malzeme iki taraflı delindiğinden delinirken cam malzemenin kalınlığı arttıkça üst ve alt matkaplar arasındaki delme mesafeleri artar. Alt tarafta

bulunan matkap delme işleminin azını gerçekleştirir. Üst taraftaki matkap ise delme işleminin tamamını yapar. Delme işlemi bitirme görevi üst tarafta bulunan matkaba aittir. Alt matkabın delme derinliği üst matkaba göre daha azdır. Bu nedenden dolayı üst matkabın ömrü azalmaktadır. Alt taraftaki matkabın cam malzemenin alt yüzeyinden itibaren cam kalınlığının yaklaşık %30 ila %70'i arası kadar delme işlemini gerçekleştirmesi beklenir. Delme işleminde iyi bir yüzey elde etmek için matkap çapı arttıkça makine devri azaltılır (Karaağaç, 2017).

Cam delme işlemi gerçekleştirmek için belli işlem sırası takip edilmelidir. İlk önce yükleme ve boşaltma işlemi yapılarak cam malzeme makineye getirilir. Sıkıştırma işlemi yapılır, çift taraftan cam malzeme iki matkap yardımıyla delinir. Soğutma işlemi yapılır. İşlemler sırasında hız ve pozisyon ayarları yapılır.

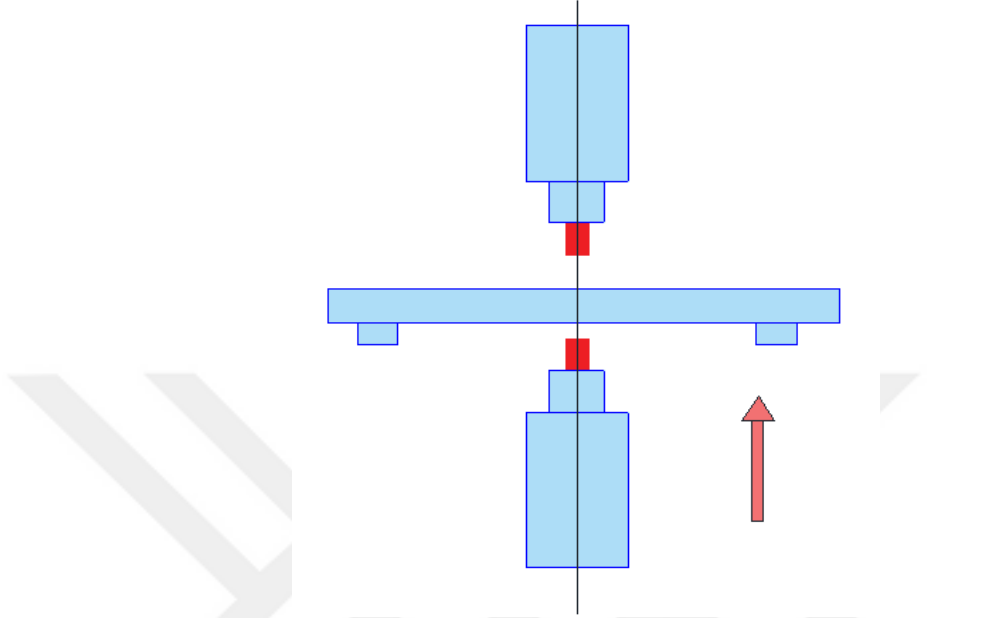
Deneyde kullanılan 4 mm kalınlığındaki düz camların delinmesi için alt matkap cama 2 mm kadar girer. Üst matkap ise cama 2,4 mm kadar girer ve bu sayede delme işlemi yapılır. İki matkap arasında oluşan izi gidermek ve delik içindeki fazla artık camı temizlemek için üst matkap daha fazla ilerler.

1) İlk olarak camın konumu ayarlanır ve sıkıştırma işlemi yapılır (Şekil 4.4).



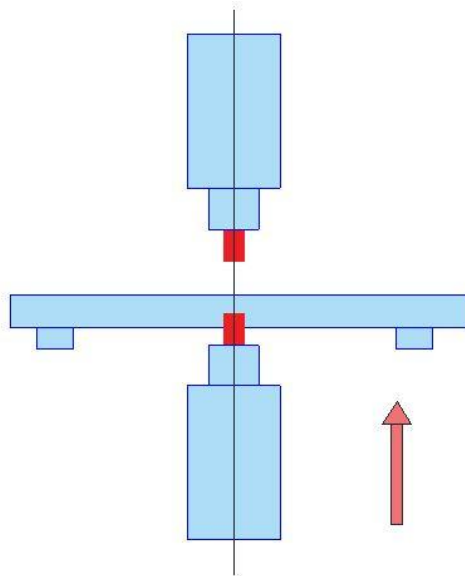
Şekil 4.4. Camın pozisyonlanması ve sıkıştırılması.

2) Alt kısımdaki bulunan matkap cama hızlı bir şekilde 1 mm mesafe kalıncaya kadar yaklaşır. Yaklaşma hızlardan daha düşük hızlarda delme işlemi devam eder (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Alt matkabin hızlı yaklaşması.

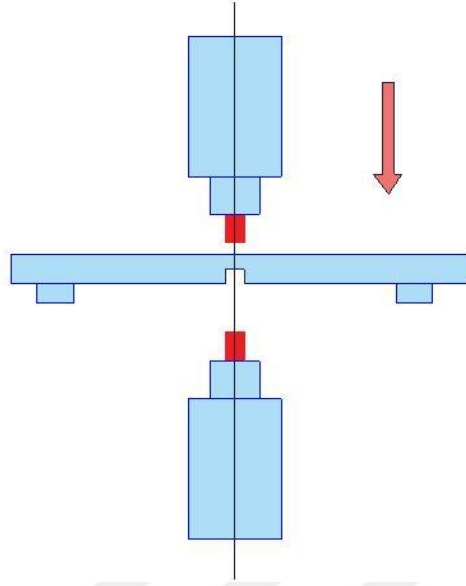
3) Alt kısımdaki matkap delme işlemine başlar (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Alt matkabin cam içinde ilerlemesi.

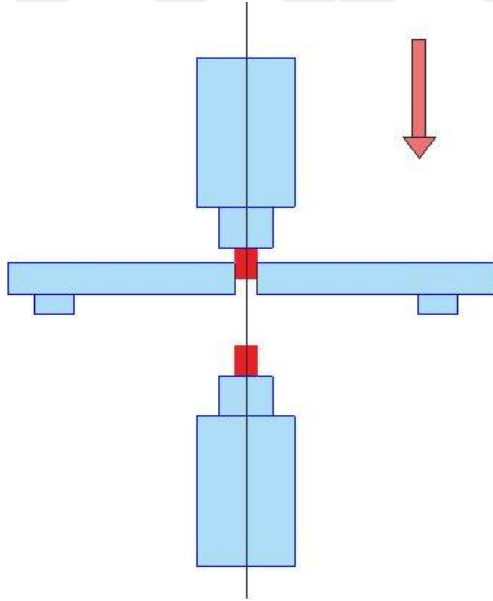
4) Üst matkap cama 1 mm mesafeye kadar hızla yaklaşır. Aynı zamanda alt matkap delme işlemi bitirip eski konumuna geri döner (Şekil 4.7).





**Şekil 4.7.** Üst matkabın hızla yaklaşması.

5) Üst kısımdaki matkap ilerleyerek delme işlemini bitirir (Şekil 4.8).



**Şekil 4.8.** Delme işleminin bitirilmesi.

## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümünde deneysel çalışmada tercih edilen tezgahlar, takımlar ve kullanılan yöntemler ve yapılan analizler anlatılmıştır. Delme işleminde kullanılan makinelerin özellikleri belirtilmiştir. Deneylerde kullanılan cam, numuneler, takımlar ve makineler materyal bölümünde açıklanmıştır. Deneyler sonrasında takımlarda meydana gelen değişiklikler ve mikro yapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntülenmiştir ve yöntemler bölümünde verilmiştir.

### 5.1 Materyal

#### 5.1.1 Deney Numunesi

Deneylerde numune olarak belirli ölçülere sahip düz camlar kullanılmıştır. Düz camlar kullanıldıkları alana göre tempersiz veya temperli olabilmektedir. Düz camın işlenmesi daha çok beyaz eşya sektörü için kullanılan fırın, ocak ve buzdolaplarında kullanılmaktadır. Deneyin gerçekleştirildiği fabrikada tüm düz camlar beyaz eşya sektörü için işlenmektedir.

#### 5.1.2 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deney numuneleri 100\*500 mm ölçüsünde kesilerek hazırlanmıştır. Düz camların delik delme işlemi Retatek CDH 6060 tipi makinada gerçekleştirilmiştir. Kullanılan camların kalınlıkları 4 mm'dir.

Düz camlar 3 farklı kimyasal birleşime sahip Ø37,4 mm çapa sahip matkaplarla yapılmıştır. Daha önceki çalışmalarda en düşük aksenal kaçıklığa sahip parametrelerle deneyler gerçekleştirilmiştir (Harmancı, 2018). Seçilen parametreler sonucunda elde edilen aksenal kaçıklık değeri 0,048 mm gibi düşük bir değere sahiptir. Deneysel çalışmada kullanılan parametreler Tablo 5.1'de verilmiştir. Seçilen devir değeri 3000 dev/dak, ilerleme değeri ise 1,5 mm/s'dir.

**Tablo 5.1.** Ø37,4 mm matkap takımı için devir, ilerleme ve cam kalınlığı değerleri

Makina Retatek CDH 6060 ( Matkap Çapı = Ø 37,4 mm )			
Eksenel Kaçıklık mm	Cam Kalınlığı (mm)	Devir (dev/dak)	İlerleme Değeri (mm/s)
0,048	4	3000	1,5

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi her numuneye üçer delik delinerek takım ömürleri ölçülmüştür. Deneyler Bolu’da bulunan beyaz eşya sektörünü cam işleyen fabrika ortamında yapılmıştır.



**Şekil 5.1.** Delik delinen cam numuneleri.

### 5.1.3 Cam Delme İşleminde Kullanılan Makine

Cam delme işlemi için kullanılan makine Şekil 5.2’de verilmiştir. Cam delme makinesi ithal bir makine olup imalat tarihi 2012’dir. Makinede delme yapabilen dört tane kafa tertibatı bulunmaktadır. Kafa tertibatları motor mili üzerindedir.



**Şekil 5.2.** Cam delme makinesi.

Makine otomatik konumlama yaptığı anda anahtar ile çalışmaktadır. Her bir hareket için kendine ait anahtarı mevcuttur. Farklı ebatlarda cam kesimi için sabit ve hareketli çeneler mevcuttur. Hareketli çeneyi vidalı mil mekanizması hareket ettirmektedir.

Makineye cam yüklemesi yapılması için gelen camlar konveyör üzerindeki sensörler yardımıyla algılanarak delinmek üzere sevk edilir (Şekil 5.3). Yükleme robotu pnömatik pistonlu çalışan bir vakum mekanizmasıyla konveyörden alır.



**Şekil 5.3.** Camın delinmek üzere makineye verilmesi.

Delik tablasına bırakılan cam Şekil 5.4'deki gibi delme kafaları ile delinirler. İşlemi sırasında kullanıcının ekrana girdiği değerler ile alt ve üst çeneler kapanır ve delme işlemi iki matkap ile yapılır. Delinecek malzemenin kalınlığı ve matkap çapına göre operatör tarafından ilerleme ve delme hızı değerleri girilir. Delme işlemi esnasında matkaplarda bulunan deliklerden su ile soğutma işlemi yapılır. Şekil 5.5'de görüldüğü gibi cam üzerinde delinen delik işleminden sonra vakumlanarak iş parçası boşaltma robotu ile alınır ve yıkama konveyörüne bırakılır. Cam malzeme hem alttan hem de üstten delinir. Tezgâhta kullanılan vidalı milin hassasiyeti 0,02 mm'dir. Alt ve üst tablaların hareketi, matkap taşıma kollarının aşağı yukarı hareketi vidalı mil mekanizması ile gerçekleştirilir.



Şekil 5.4. Camların delinmesi.



Şekil 5.5. Camın vakumlanarak taşınması.

Delme işlemi tamamlanmış cam malzeme konveyör bantları ile Şekil 5.6'da görüldüğü gibi yıkama bölümüne hareket eder. Yıkama işlemi yapılan camlar kurutma bölümüne geçer, daha sonra gözle kontrol edilir.



**Şekil 5.6.** Delinen camların konveyörde ilerlemesi.

Hareket mekanizması içinde bulunan kayışlarda kurşun malzeme kullanılır. Bu sayede cam makineden düz şekilde geçer. Kayışlardaki kurşun malzemenin kontrolü periyodik olarak yapılmalıdır. Ayrıca tahrik mekanizması servo sürücülüdür. Kayışlar aşınma ve yıpranmalara karşı düzenli kontrol edilmelidir. Kayışları aşınmaya karşı korumak için kurşun malzemenin varlığı kontrol edilebilir. Servo motor ve servo sürücü sistemleri sorunsuz çalışmalıdır. Cam daha önceden belirlenmiş ve hesaplanmış konuma göre hareket etmelidir.

#### **5.1.4 Cam Delme İçin Kullanılan Matkaplar**

Düz camın delinmesi için matkaplar kullanılmaktadır. Matkaplar genel olarak iki kısımdan oluşur, birincisi metal gövde kısmıdır, diğeri ise kesme işlemini gerçekleştiren uç kısımdaki elmas-bağlayıcı bölgedir. Matkap ucu ve metal gövdesi ile

ilgili resim Şekil 5.7’de verilmiştir. Düz cam delinmesinde kullanılan matkaplar çeliklerin delinmesinde kullanılan matkaplara göre değişiklik göstermektedir. Çeliklerin delinmesi için kullanılan matkaplar klasik yüksek hız çeliğinden yapılmış helisel matkaplardır. Düz camın delinmesinde kullanılan matkaplar ise metal gövdeye sahip ve uç kısmında ise elmas aşındırıcı ve bağlayıcı malzeme içeren bölgeye sahiptir. Elmas-bağlayıcı karışımının olduğu bölgenin uzunluğu, kullanılan matkap çapına göre değişim göstermektedir. Bu tür matkaplarda gövde ve elmas-bağlayıcı kısımlar darbeye maruz kalmamalıdır ve aşınma oluşmamalıdır. Bu olumsuzluklar yaşanırca delinen yüzeyde istenilen pürüzlülük değerleri elde edilemez.



**Şekil 5.7.** Matkap takımı.

Düz cam üreten fabrikada cam malzeme üzerinde birçok delik delinmektedir. Bu delikleri oluşturmak için birçok matkap takımı kullanılmaktadır. Şekil 5.8’de görüleceği gibi birçok farklı çapa ve boyuta sahip matkaplar tercih edilmektedir. Kullanılan matkapta bir kopma meydana gelirse matkap çapında değişiklik meydana gelir.





**Şekil 5.8.** Düz cam delinmesinde kullanılan matkaplar.

Cam için kullanılan delme matkaplarının bir özelliği de Şekil 5.9’da görüleceği gibi matkap iç bölgesinde bulunan delikten soğutma suyu verilmesi ve tahliye deliklerinden kalan fazla suyun atılmasıdır. Düz camın delinmesinde kullanılan takımların et kalınlıkları ise yaklaşık olarak 1 mm’dir. Matkaplar çok fazla darbe ve kuvvete maruz kaldıklarından dolayı uç kısmında elmas aşındırıcılar bağlayıcı ile birlikte kullanılmaktadır. Ayrıca takım ömrünü arttırmak için matkabın uç kısmına titanyum veya nikel ile kaplama yapılmaktadır.



**Şekil 5.9.** Matkap iç yüzü ve soğutma deliği.

Düz cam için kullanılan delme takımlarında bağlayıcılar da kullanılmaktadır. Matkap için elmas parçacıkları ve bağlayıcılar önem arz etmektedir. Matkap ucunda bulunan aşındırıcı kısmın uzunluğu yaklaşık olarak 9 mm civarındadır. Matkap malzemesinin kimyasal birleşimi dayanımı ve takım ömrünü direk olarak etkilemektedir. Bu çalışmada üç farklı kimyasal birleşime sahip aşındırıcı kısım ile ilgili deneyler yapılmış ve en uygun kimyasal birleşim bulunmaya çalışılmıştır.

## **5.2 Yöntem**

### **5.2.1 Deneylerin Yapılışı**

Beyaz eşya sektöründe kullanılan camların üzerindeki deliklerin delinmesi için matkap kullanılmaktadır. Cam delme işlemi aynı çapa sahip iki matkap ile iki taraftan gerçekleştirilmektedir. Deneyler sırasında ideal ortam sıcaklığı dikkate alınmıştır. Deneyler için farklı firmalar tarafından üretilmiş aynı elmas boyutuna sahip aşındırıcılar içeren ve bu aşındırıcıların birbirine tutunması için kullanılan bağlayıcıları farklı olan üç adet delme matkabı kullanılmıştır.

Deneyler delme matkapları ile Bolu'da beyaz eşya sektörüne düz cam temini yapan düz cam işleme fabrikasında gerçekleştirilmiştir.

Delme işlemi sonucunda her matkap için farklı ömür değeri elde edilmiştir. Tüm matkaplar minimum delik kaçıklık değerlerini sağlamış olmalarının yanında, ömür değerleri olarak farklılıklar görülmüştür. Delme işlemlerinden sonra matkap yüzeyinden numune parçalar kesilerek alınmıştır. Bu numuneler SEM ve EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) ile görüntülenmiş ve kimyasal kompozisyonları çıkartılmıştır. Elde edilen mikroskobik görüntüler ve yapılan kimyasal analizler ile elmas aşındırıcı parçacıklı matkapların yapısında bulunan bağ yapısı ile takım ömrü arasında doğrudan bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Tartışma bölümünde kimyasal kompozisyon ve bağ yapısı ile matkap ömrü arasındaki ilişki genişçe anlatılmıştır.

## **5.2.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)**

Taramalı elektron mikroskobu İngilizce'de şu şekilde adlandırılır; "Scanning Electron Microscope". Bu mikroskop türleri adli tıpta, biyolojik alanlarda, anatomide, mikrobiyolojik ve biyokimya incelemelerinde, madde bilimi ve yeryüzü bilimleri gibi birçok alan için kullanılmaktadır. Numuneleri 100 bin kez büyötmeye kadar büyöterek görüntü elde edilmesini sağlar.

1970 li yıllardan itibaren kullanılmaya başlanmıştır, günümüzdeki tarama elektron mikroskoplarının ayırım gücü 35 keV olup, elektron görüntüsü ise 40A°-50A° değerlerine kadar indirilmiştir. Mikroskopların büyötmeye oranları ise 300.000-500.000 arasında değişmektedir.

Taramalı elektron mikroskopu üç bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler şu şekilde sıralanabilir; numune odası, optik kol ve elektronik donanımdır. Tarama mikroskopunun optik kolunda; elektron kaynaklı tabanca, anot plakası, kondansör ve mercekler, tarama bobinleri vardır.

Numune odacığı içinde ise üç boyutta hareket eden numune kızıağı ve sinyal algılayıcıları mevcuttur. Elektronik donanım sayesinde ise; mercek akımı, flaman akımı ve uyarma gerilimlerini kontrol ederek oluşan sinyaller algılanır ve bu sinyalleri

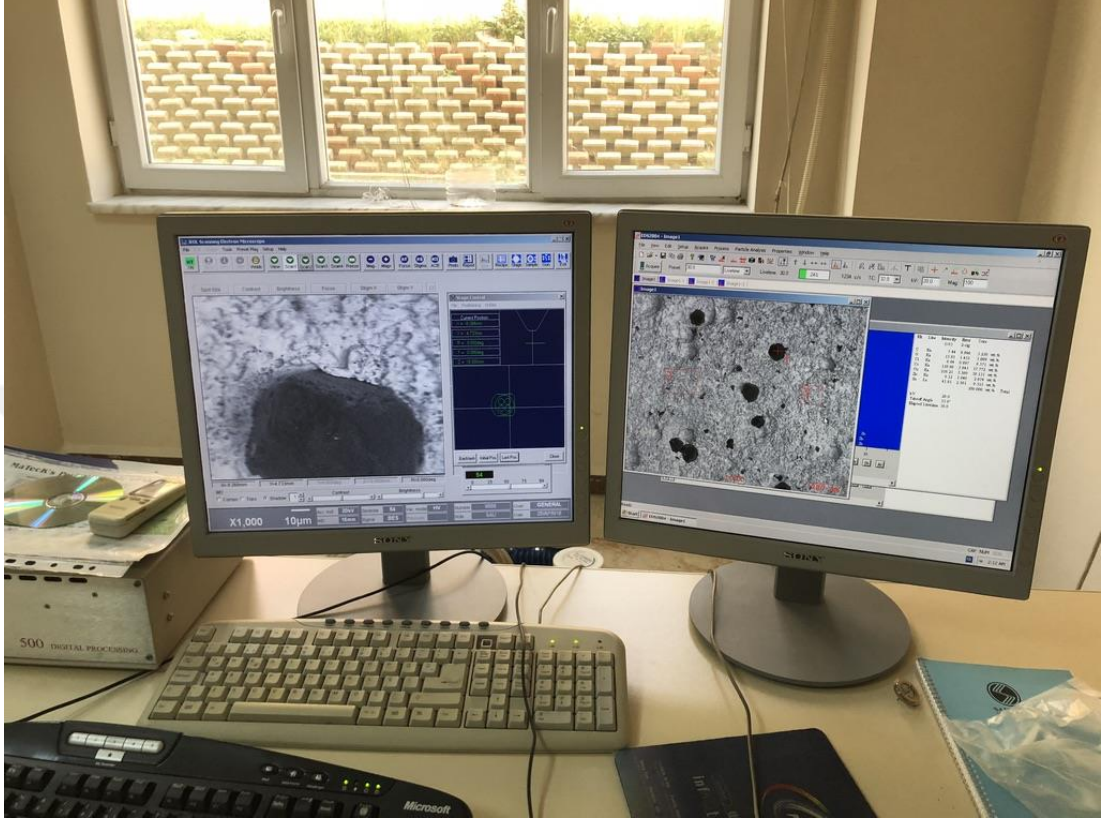
işlenerek numunelerin özellikleri yansıtılır ve görüntülerin oluşturulur (Erdin, 1986). Elektron tabancası içerisindeki volfram flaman tel tarafından elektronlar üretilir. Flaman telin sıcaklığı yüksek voltaj sebebi ile 2600 Kelvin e kadar ulaşmaktadır. Uygun tel kalınlığı seçilerek elektron salınımı ayarlanabilir. Bazen de ısı yükselmesinden dolayı telde zamanla korozyon oluşarak oksitlenir ve gevrekleşir. Genel olarak bu tür mikroskoplarda uygun tel kalınlığının 0.125 mm civarındadır. Anot plaka ile oluşan elektronlar numune yüzeyine doğru yönlendirilir. Elektronlar elektro manyetik özelliklerine sahip olan iki mercekten geçmektedir. Bu mercekler objektif ve kondansatör mercektir. Elektronlar ilk önce kondansatör mercekle tarafından yoğunlaştırılır sonra objektif merceğe doğru gönderilir ve buradan numune üzerine odaklanır. Sistem tamamen vakum altında gerçekleşir, bu sayede elektronların gaz molekülleri ile etkileşimi önlenmiş olur.



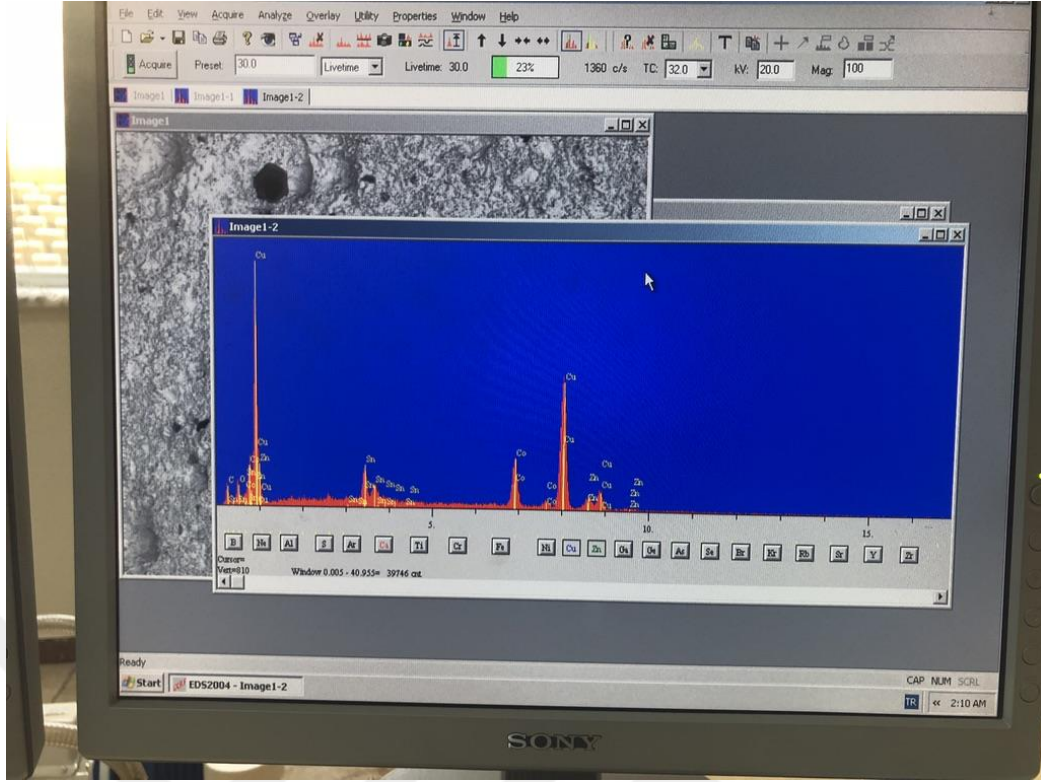
**Şekil 5.10.** SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu).

Taramalı elektron mikroskobu Şekil 5.10'da görülmektedir. Numune üzerindeki görüntü belirli ölçülerde büyütülerek elde edilir ve bilgisayar ekranında

görüntülenir. İkinci bilgisayar ekranı kullanılarak ise hem mikroskopik görüntü sonuçları hem de EDS kimyasal analiz sonuçları görülmektedir. Ayrıca numunenin kimyasal analizi de gösterilmektedir (Şekiller 5.11 ve 5.12).

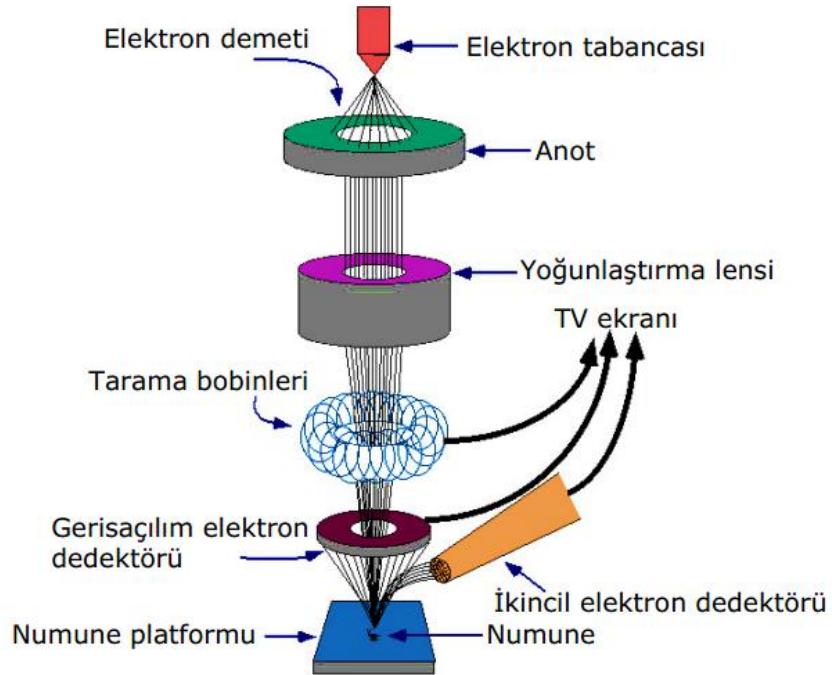


Şekil 5.11. SEM cihazı sonuç ekranı.



Şekil 5.12. EDS cihazı sonuç ekranı.

Taramalı elektron mikroskopunun çalışma prensibi Şekil 5.13’de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 5.13. Taramalı elektron mikroskop çalışma prensibi (<https://www.slideshare.net/iuslu/taramal-elektron-mikroskobu>).

SEM görüntülerinin alımı JEOL JSM-6060 LV marka cihazda yapılmıştır. Belirtilen cihazın özellikleri şu şekildedir:

**MODEL : JEOL JSM-6060 LV**

**TEKNİK ÖZELLİKLER:**

- Taramalı elektron mikroskobu bilgisayar kontrollü bir çalışma prensibine sahiptir.
- K- tipi tungsten filaman elektron oluşturmak için kullanılmaktadır.
- Kartezyen kontrolü 5 eksenli motorize (X=20mm, Y=10mm, Z=40mm, Tilt=-10° ve +90°, Dönme=360°) ile çalışmaktadır.
- Hızlandırıcı voltaj 30 kV iken 8 mm çalışma aralığı için 3,5 nm çözünürlük ile çalışılmaktadır.
- Cihazda 0,5 kV ile 30 kV hızlandırıcı voltaj arasında inceleme yapılabilmektedir.
- Büyütme kapasitesi ise 8x-300.000x arasındadır.
- Numune tutucusu üç çeşittir:

1- 5 veya 10 mm yüksekliğindeki pirinç tablaların sabitlendiği ve 10 mm çapında numunelerin koyulduğu tekli tutucu,

2- Aynı ölçüye sahip tablalar ile dört numuneye birden aynı anda bakılan dörtlü tutucu.

3- 5 veya 10 mm yüksekliğindeki pirinç tablaların yerleştirildiği ve numunelerin 32 mm çapında olduğu tekli tutucu.

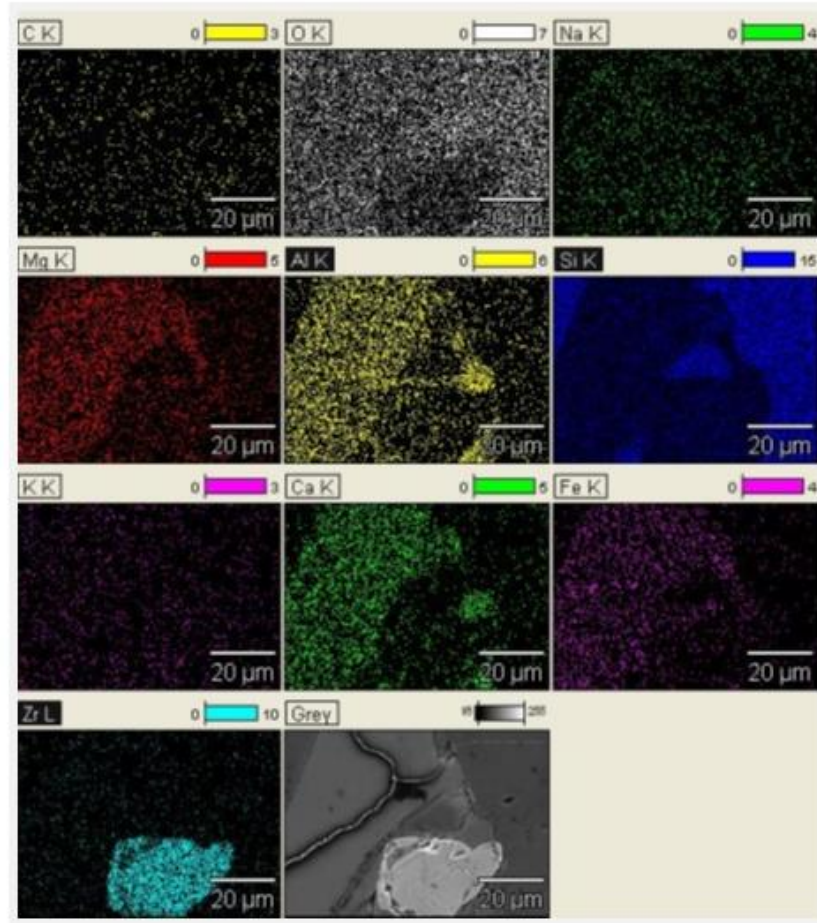
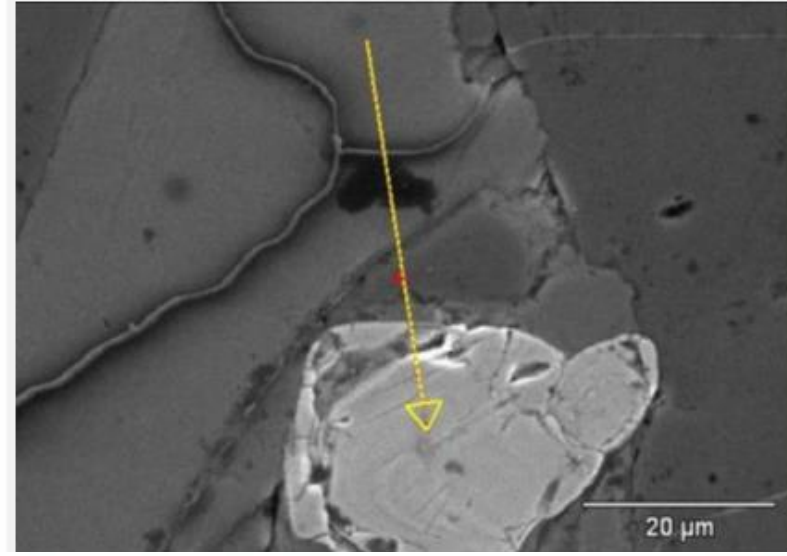
Taramalı Elektron mikroskopuna ilaveten numunelerin element analizini yapabilmek için Enerji dağılım spektroskopisi kullanılır. İngilizce ifadesi ise 'Energy Dispersive Spectroscopy'dir (Apay ve Gülenç, 2013). Bu analiz yöntemi ile kullanılan numunelerin hangi elementlerden, yüzde olarak ne kadar içerdikleri hakkında bilgi sahibi olunur (Ergün ve Yenisey, 2006).

Yüksek enerjili elektronlar ile numunelerin yüzeyinden elektronlar kopartılır. Dış yörüngeden kopan elektronlar sıçrama ile iç yörüngeden kopan elektronların

arasına girerek kararlılığı sağlarlar. Dış yörüngedeki elektronlar ışıma yaparak fazla enerjilerini kaybederler. Bu sayede X-ışınları yayımlanır, bu ışınlar sayesinde numunenin içyapısında hangi element atomlarının bulunduğu ve hangi enerji kabuğundan yansıma yaptıkları ile ilgili bilgiler bulunur. Elde edilen bu bilgiler elektron algılayıcılar tarafından algılanır daha sonra bilgisayar işlemcisi ile işlenerek analiz yapılır. EDS analizi ile bir örnek numuneden alınan görüntüler Şekil 5.14 de verilmiştir.







Şekil 5.14. Örnek bir numuneden alınan EDS görüntüsü.

## 6. ELDE EDİLEN DENEYSEL SONUÇLAR

Üç farklı yapıya sahip aynı çaptaki matkaplar için ömür değerleri alındıktan sonra kimyasal analiz yapılmıştır. Ömrü sona erene kadar 3 farklı matkap ile delikler delinmiştir.

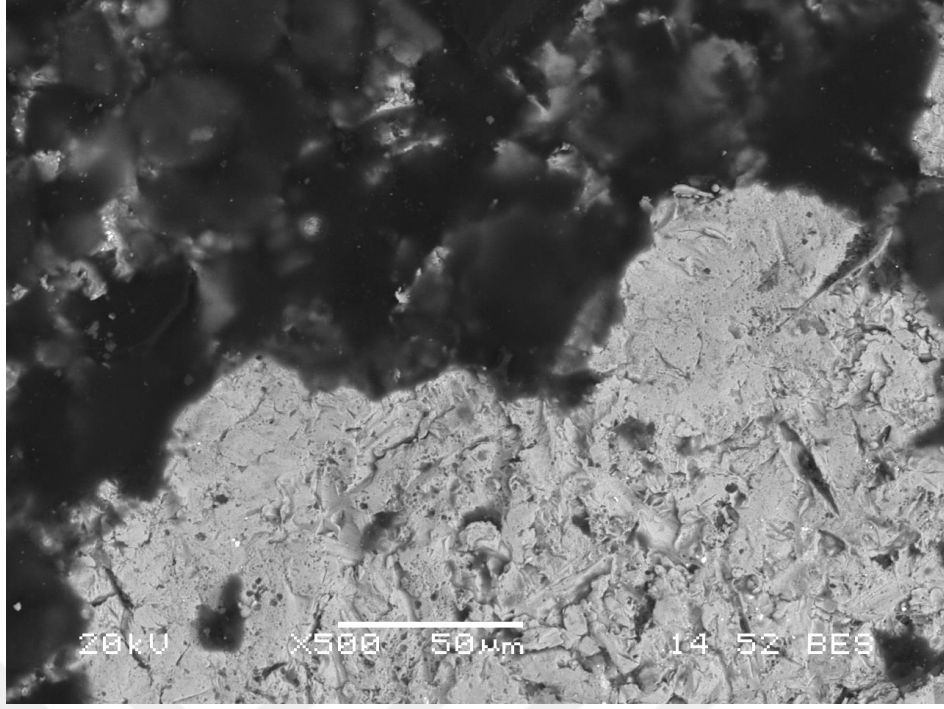
### 6.1 D1 Matkap Analizi

D1 kodlu matkap ile yapılan deneyler sonucunda toplam 2153 dak boyunca cam delme işlemi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucu elde edilen camın bir numunesi Şekil 6.1’de verilmiştir.



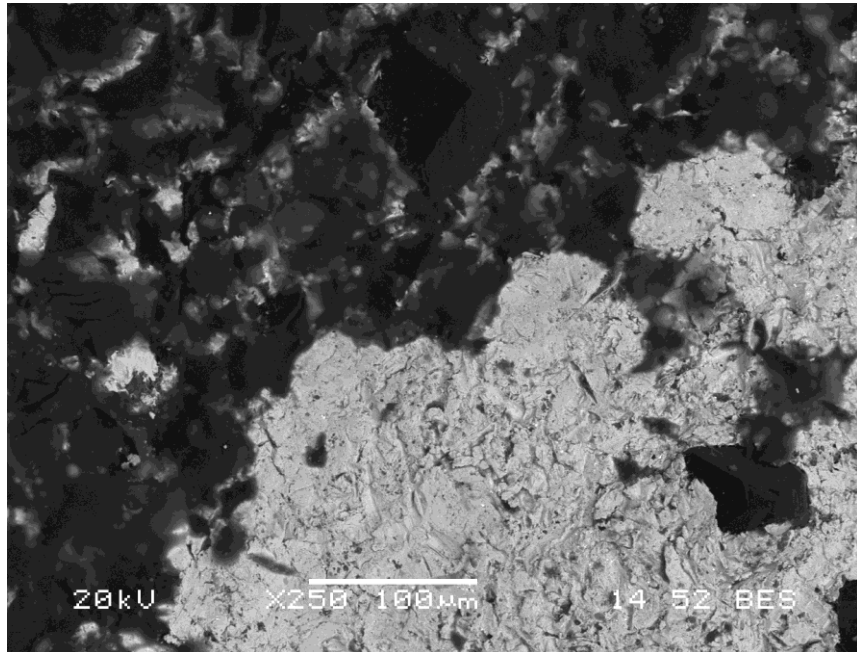
**Şekil 6.1.** Matkapla delinmiş cam numunesi

Şekil 6.2 de D1 numunesinin SEM cihazındaki 500 büyütme görüntüsü verilmektedir. Delme işleminde yüksek hız ve sürtünme fazla olduğundan ve delme takımının kalınlığı az olduğu için genel olarak elmas parçacıklar ve bağlayıcılar tercih edilmektedir. Şekil 6.2 incelendiğinde elmas parçacık ve bağlayıcılar görülmektedir.

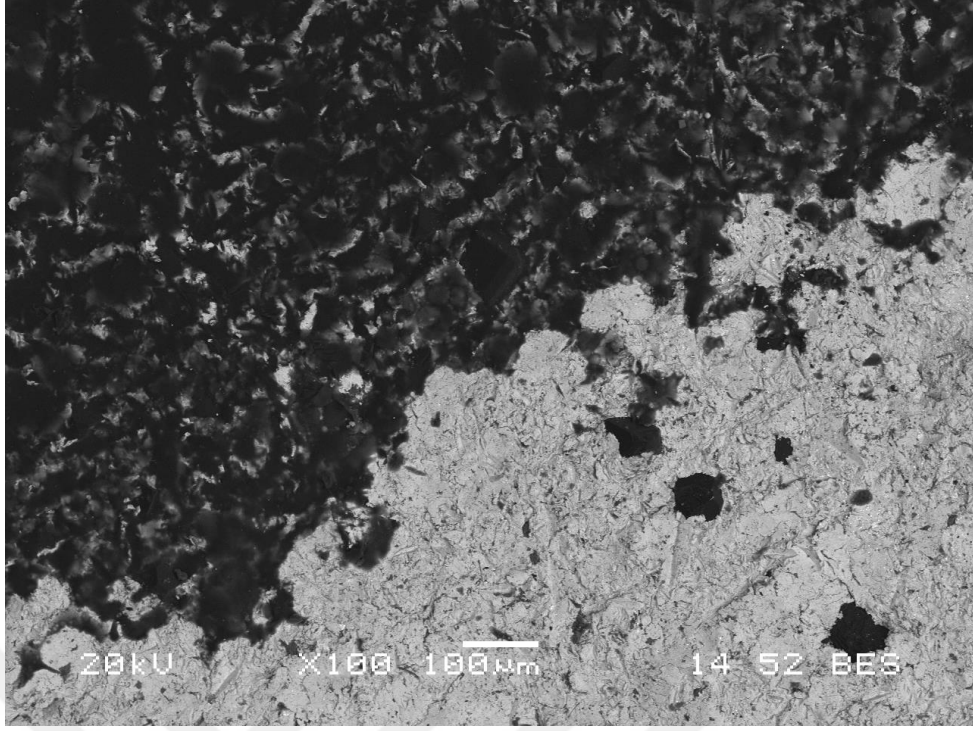


**Şekil 6.2.** D1 numunesi için 500 büyütme SEM görüntüsü.

Şekiller 6.3 ve 6.4 de ise sırasıyla 250 ve 100 büyütmelerdeki SEM analizleri görülmektedir. Özellikle Şekil 6.4 deki görüntü incelendiğinde bazı elmas parçacığının düştüğü görülmektedir. Bağ yapısı içerisinde %20 oranında bakır mevcuttur. İncelemeye tabi tutulan matkap ömür değerleri diğer iki matkaba göre düşük çıkmıştır. Bu nedenle EDS incelemesi yapılmıştır.

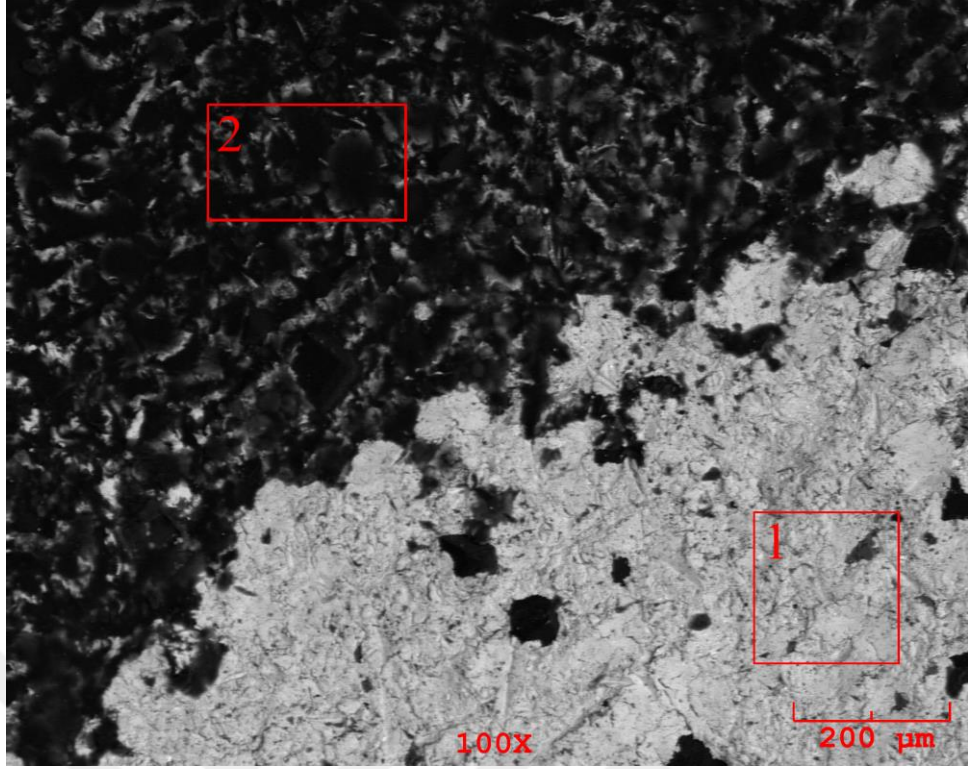


**Şekil 6.3.** D1 numunesi için 250 büyütme SEM analizi.

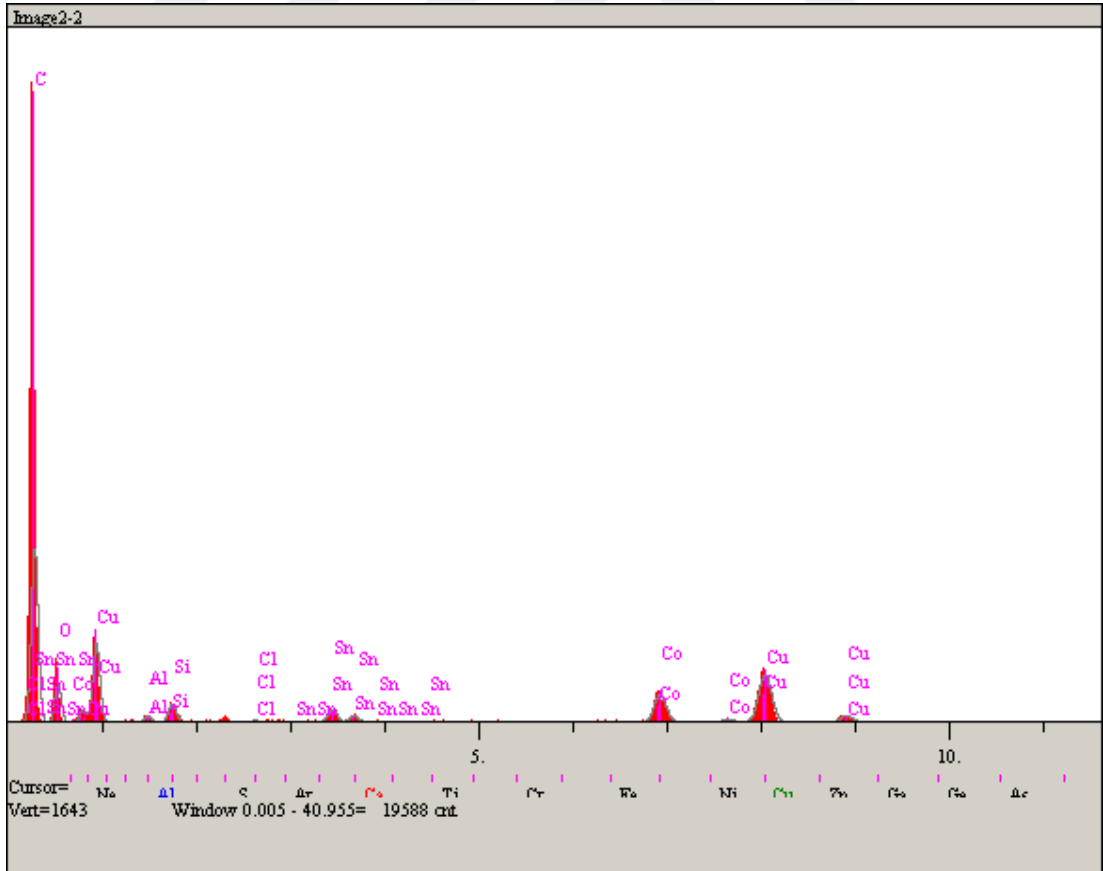


**Şekil 6.4.** D1 numunesi için 100 büyütme SEM analizi.

EDS analizi incelenmesi için Şekil 6.5’de görüldüğü gibi iki adet bölge seçilmiştir. Bu bölgelerden birincisi siyah parçacıkların olduğu bölgedir. Bu bölgenin içeriğinin tümünün karbon içerdiği yani elmas parçacık olduğu görülmüştür. Birinci bölge incelendiğinde ise bağlayıcı olarak %6,7 Co içermektedir. Kobalt abrasif elmas parçacıkların matkap üzerine tutunmasını sağlamaktadır. Az miktarda görülen Cl ise su ve camdan matkaba geçtiği öngörülmektedir. Ayrıca D1 matkabının içerisinde az miktarda kalay mevcuttur (Şekil 6.6, tablo 6.1).



Şekil 6.5. D1 numunesi için EDS görüntüsü.



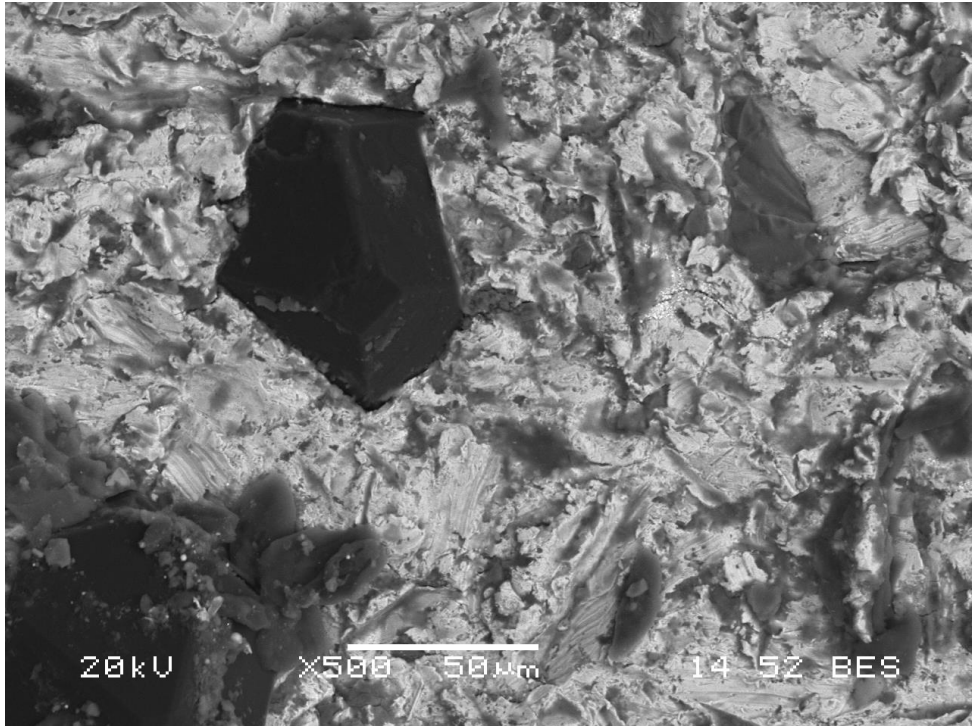
Şekil 6.6. D1 numunesi EDS analiz grafiği.

**Tablo 6.1.** D1 numunesi EDS analizi kimyasal kompozisyonu

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	127.74	4.126	52.154	wt.%	
O	Ka	26.30	1.872	15.474	wt.%	
Al	Ka	5.12	0.826	0.605	wt.%	
Si	Ka	14.65	1.397	1.471	wt.%	
Cl	Ka	1.90	0.504	0.169	wt.%	
Co	Ka	35.53	2.176	6.719	wt.%	
Cu	Ka	65.23	2.948	20.325	wt.%	
Sn	La	12.44	1.288	3.083	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

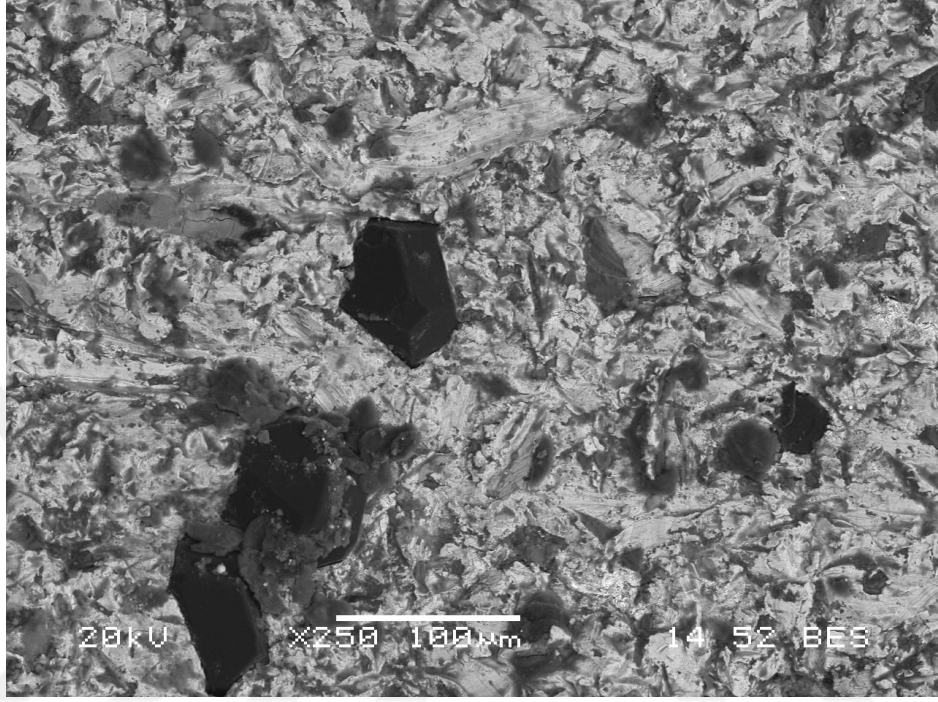
## 6.2 D2 Matkap Analizi

D2 kodlu matkap ile yapılan delme işlemlerinde elde edilen ömür değeri 2465 dak'dır. Aşağıdaki resimlerde SEM cihazında çekilmiş farklı büyütmelerdeki analizler görülmektedir. Örneğin 1.000 büyütmedeki Şekil 6.7 incelendiğinde elmas taneciğinin dış yüzeyinin parlak olduğu görülmektedir. Yapı D1 matkabının yapısına göre biraz daha düzenlidir.

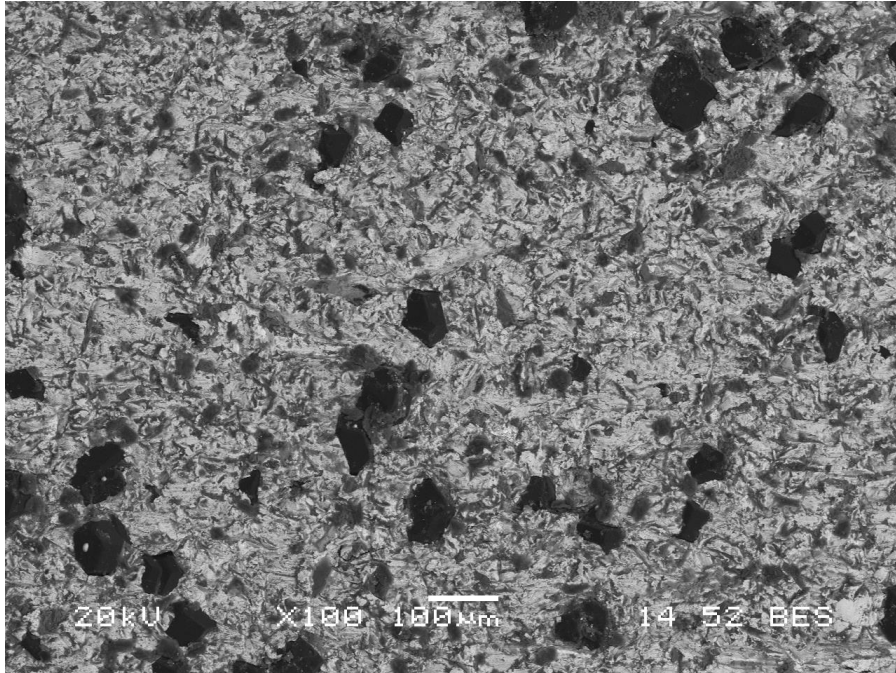


**Şekil 6.7.** D2 numunesi için 500 büyütmeli SEM görüntüsü.

Şekiller 6.8 ve 6.9’da sırasıyla 250 ve 100 büyütmelerdeki SEM analizleri görülmektedir. Farklı boyutlarda elmas taneciklerini dağılımı görülmektedir. Dağılım homojen şekilde değildir. İncelemeye tabi tutulan matkabın ömür değeri D1’den fazladır fakat D3’den azdır. Yapıda elmas parçacıkları D1 matkabına göre daha net görülmektedir.

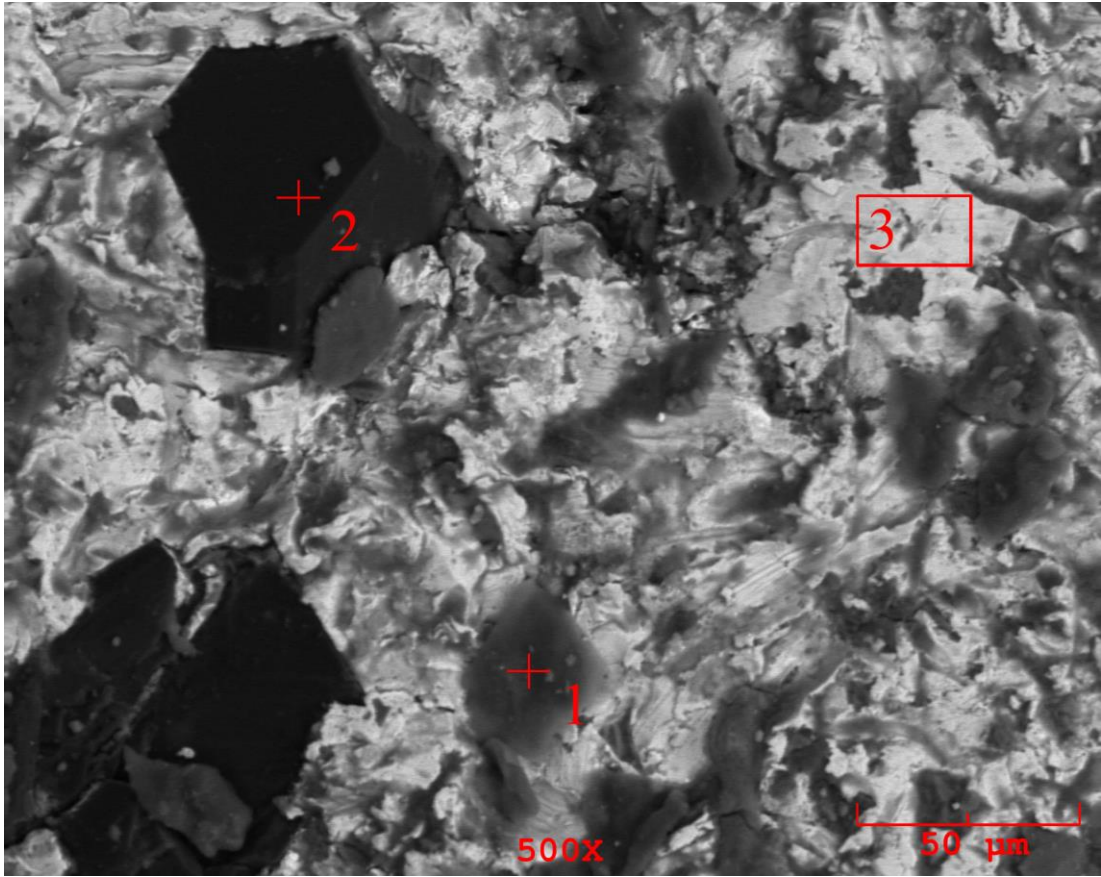


**Şekil 6.8.** D2 numunesi için 250 büyütmeli SEM analizi.



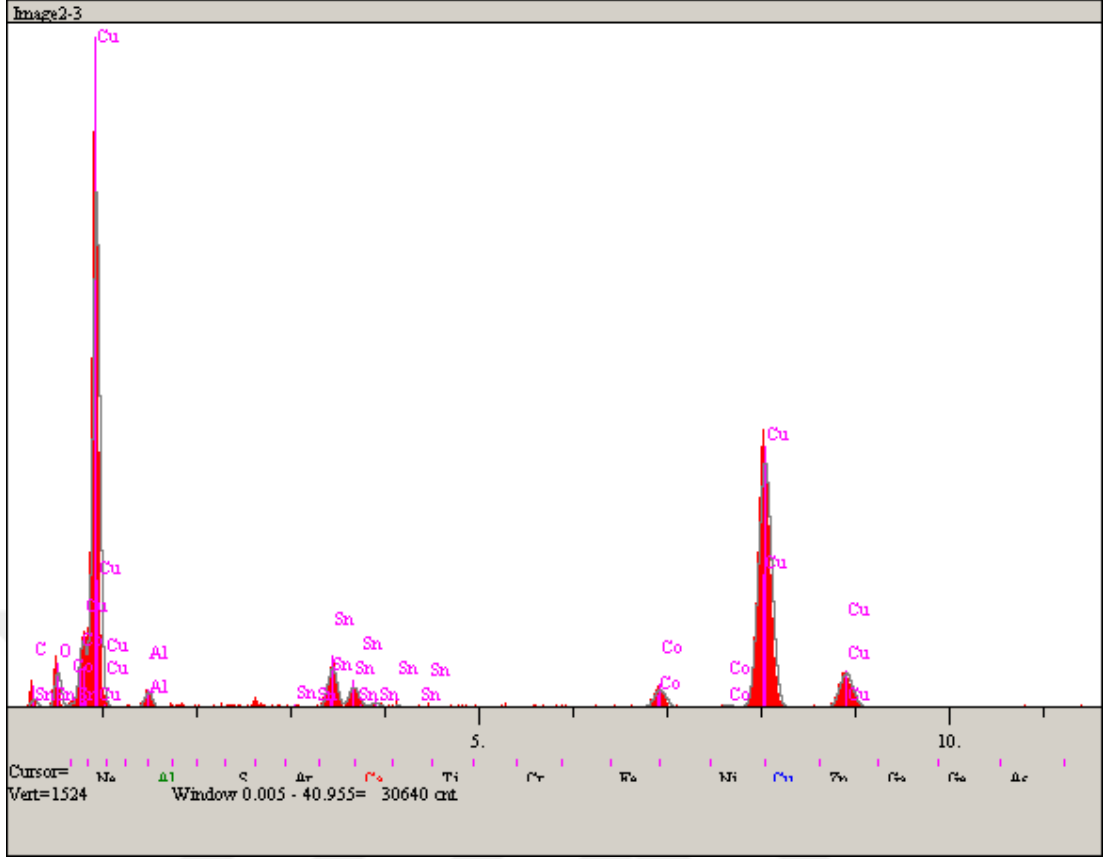
**Şekil 6.9.** D2 numunesi için 100 büyütmeli SEM analizi.

Matkap içerisindeki yapı için EDS incelemesi yapılmıştır. EDS analizi için Şekil 6.10'da görüldüğü gibi üç bölge seçilmiştir. Bunlardan birinci bölge siyah parçacıkların olduğu bölgedir. Belirtilen bölgenin içerik kısmında tamamı karbon olduğu için elmas olduğu anlaşılmıştır. İkinci bölgenin de tamamı elmas parçacıktır. Üçüncü bölge için EDS analiz sonucu Şekil 6.11'de verilmiştir. EDS analizi incelendiğinde tablo 6.2'den görüleceği gibi, bakır oranı %77'dir. Kobalt oranı ise yaklaşık %2,7'dir. Kobalt matkap içerisinde bağlayıcı olarak tercih edilmiştir. Ayrıca az miktarda kalay mevcuttur.



Şekil 6.10. D2 numunesi için EDS görüntüsü.





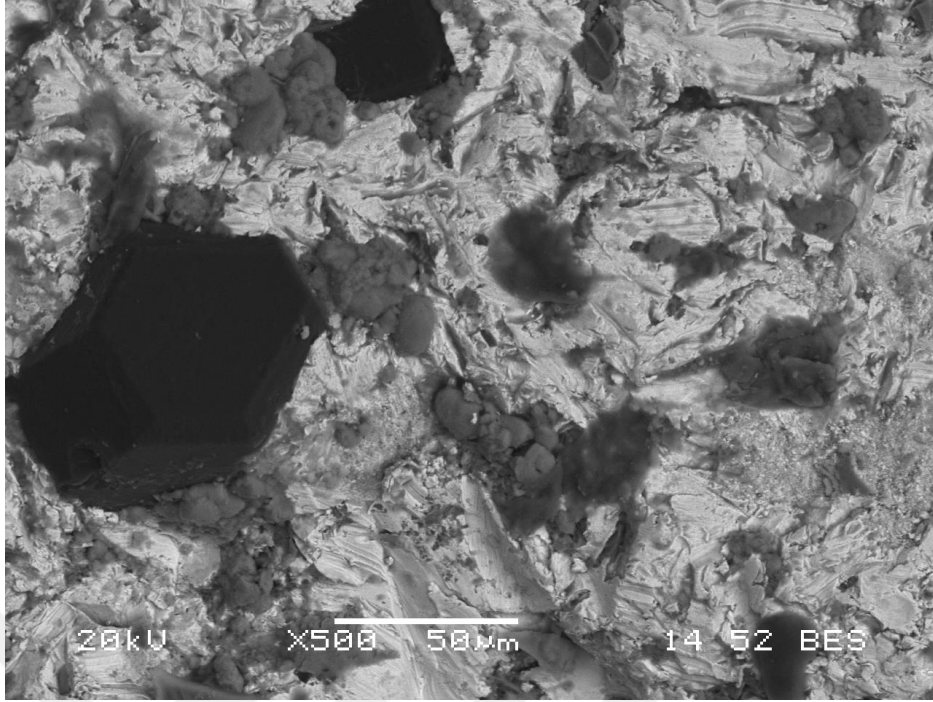
Şekil 6.11. D2 numunesi EDS analiz grafiği.

Tablo 6.2. D2 numunesi EDS analizi kimyasal kompozisyon

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	5.84	0.882	4.002	wt.%	
O	Ka	22.70	1.739	6.417	wt.%	
Al	Ka	12.16	1.273	1.876	wt.%	
Co	Ka	21.80	1.705	2.681	wt.%	
Cu	Ka	314.90	6.479	77.352	wt.%	
Sn	La	37.29	2.230	7.672	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

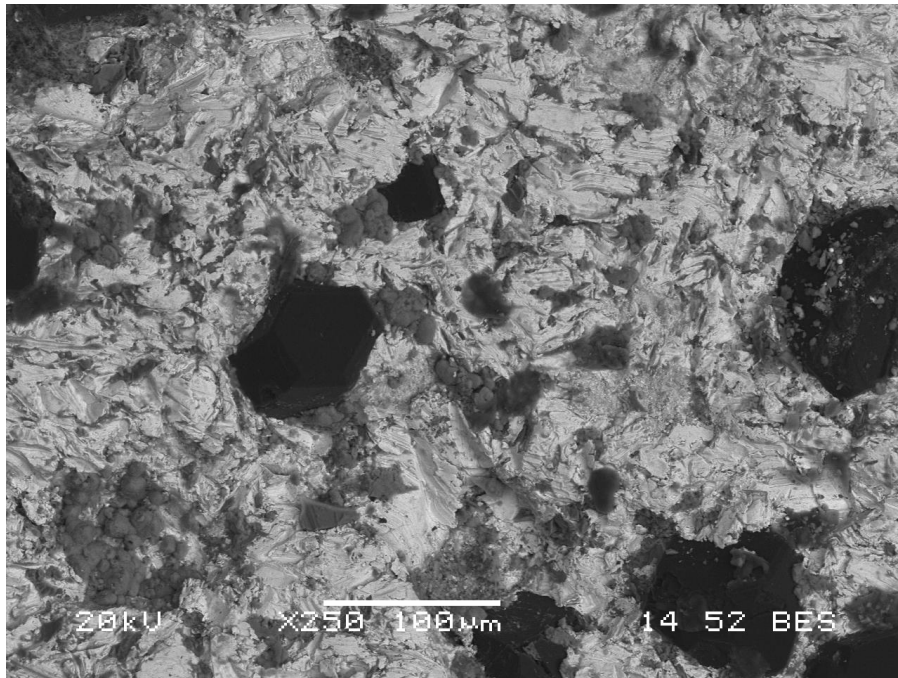
### 6.3 D3 Matkap Analizi

D3 kodlu matkap ömür açısından diğer iki matkaba göre daha yüksek ömre sahiptir. Toplam 3116 dak boyunca cam delme işlemi yapabirmiştir. Şekil 6.12’de D3 matkabının 1.000 büyütmedeki SEM cihazında çekilmiş olan görüntüsü mevcuttur. Resim incelendiğinde elmas parçacıklarının dış yüzeyinin parlak olduğu anlaşılmaktadır.

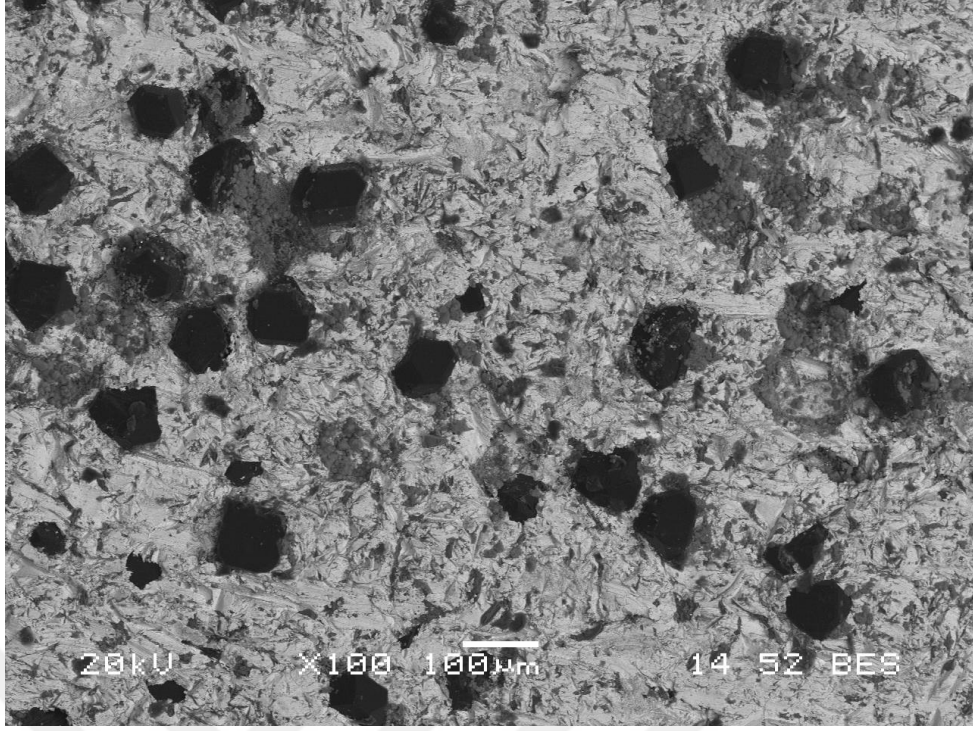


**Şekil 6.12.** D3 numunesi için 500 büyütme SEM görüntüsü.

Diğer resimler olan Şekiller 6.13 ve 6.14 ise sırasıyla 250 ve 100 büyütmelerdeki SEM görüntülerini içermektedir. Resimlerin bazı yerlerinde elmas parçacıklarında kopmalar olmuştur. Malzemenin bağ yapısı sert olduğundan dolayı bu düşmeler meydana gelmiştir.

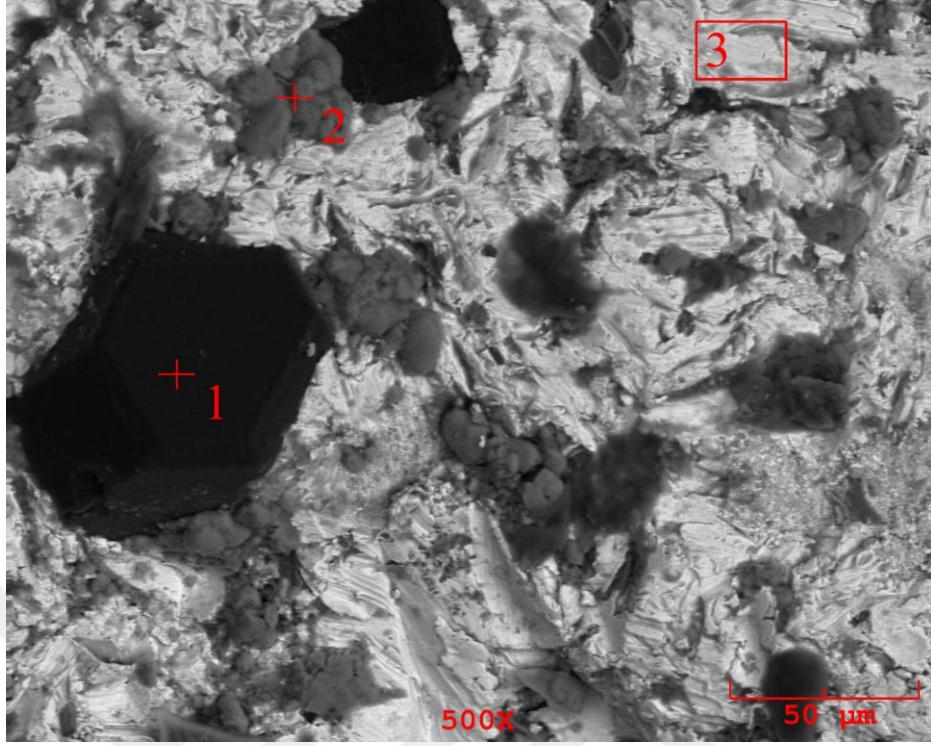


**Şekil 6.13.** D3 numunesi için 250 büyütme SEM analizi.

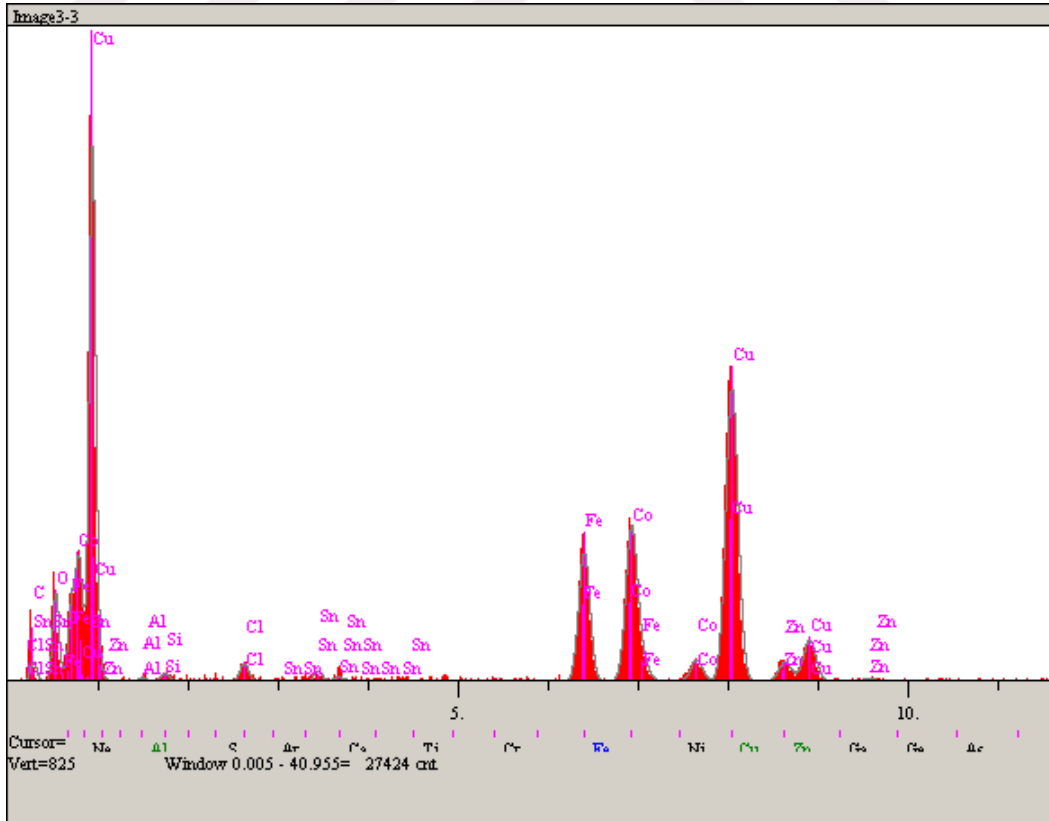


**Şekil 6.14.** D3 numunesi için 100 büyütme SEM analizi.

EDS analizi üç farklı bölgeden yapılmıştır (Şekil 6.15). Bunlardan birinci bölge siyah parçacıkların olduğu bölgedir. Birinci bölge içeriğinin tamamı karbondur ve elmas olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 6.3’de D3 matkap için yapılmış olan EDS analizinin kimyasal kompozisyonunu verilmiştir. Tablo 6.3 incelendiğinde yaklaşık % 15 oranında kobalt bulunduğu görülmüştür. Kobalt matkap içerisinde bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Aşındırıcı elmas parçacıklarının matkap üzerine tutunmasını sağlamaktadır. Bakır ana malzeme olarak kullanılmış olup oranı yaklaşık % 54 tür. Matkap kimyasal birleşimi içinde az oranda kalay ve çinko mevcuttur.



Şekil 6.15. D3 numunesi için EDS görüntüsü.



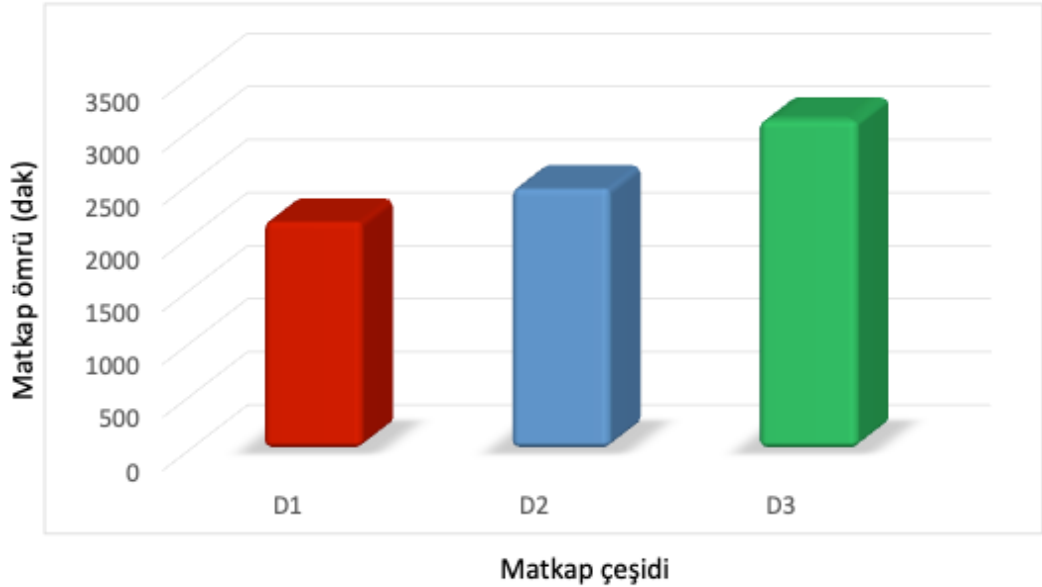
Şekil 6.16. D3 numunesi EDS analiz grafiği.

**Tablo 6.3.** D3 numunesi EDS analizi kimyasal kompozisyonu

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	7.52	1.001	5.248	wt.%	
O	Ka	31.74	2.057	7.814	wt.%	
Al	Ka	1.63	0.466	0.246	wt.%	
Si	Ka	3.64	0.697	0.435	wt.%	
Cl	Ka	8.76	1.081	0.756	wt.%	
Fe	Ka	84.88	3.364	11.005	wt.%	
Co	Ka	104.35	3.730	15.282	wt.%	
Cu	Ka	212.26	5.319	53.844	wt.%	
Zn	Ka	14.41	1.386	4.402	wt.%	
Sn	La	4.95	0.813	0.969	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

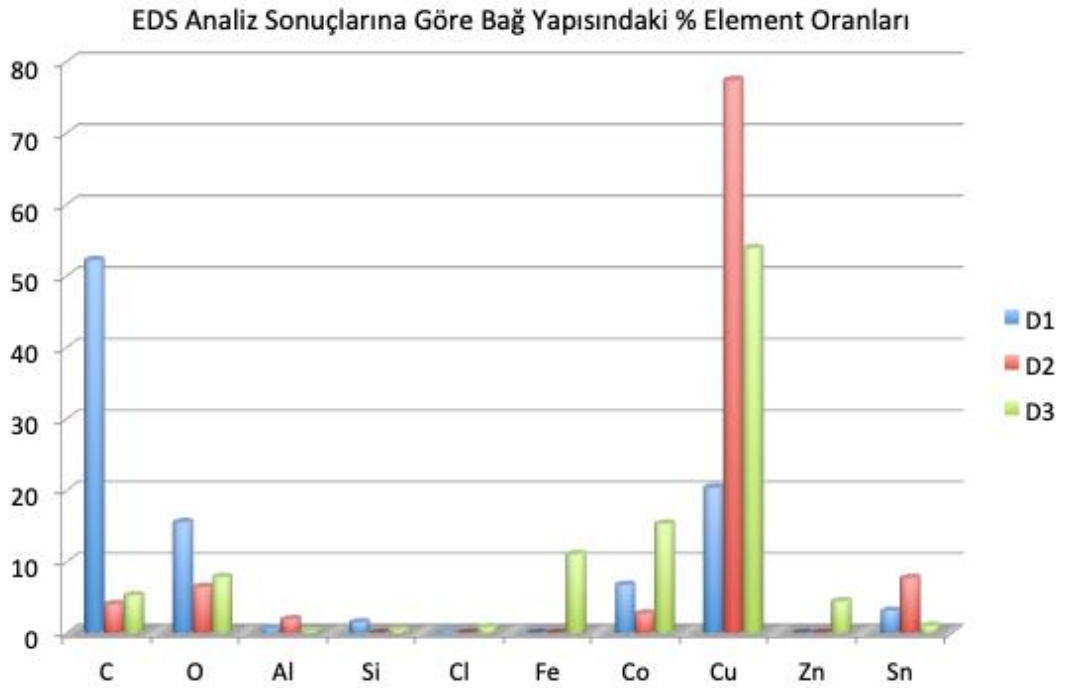
#### 6.4 Matkap Ömürleri

Üç matkabin işlenmesi ile elde edilen ömür değerleri Şekil 6.17’de verilmiştir. D1 matkabı için ömür değeri 2153 dak bulunmuştur. Bu ömür değeri ile üç matkap arasında en az ömre sahip takımıdır.



**Şekil 6.17.** Matkap ömür değerleri.

D2 takımının ömür değeri ise D1'den büyük olup 2465 dak'dır. Matkap ömrü açısından en iyi değeri 3116 dak ile D3 matkabı vermiştir. Bunun nedeni ise kobalt oranının diğer matkaplardan fazla olması ve içinde bakır yanında %11 oranında Fe eklenmesidir. Bu sayede sertlik ve bağlayıcının aşındırıcı elmasları tutma özelliği artmıştır. Şekil 6.18'de matkapların yapısında bulunan elementlerin oransal olarak grafiği görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde ömrü yüksek olan D3 matkabının çinko, demir ve kobalt oranının en yüksek olduğu görülmektedir.



**Şekil 6.18.** Matkapların bağ yapısında bulunan element oranları.

Genel olarak elmas parçacıkları küçük olup üstünde herhangi bir kalıntı yoktur. Özellikle D3 matkabının içyapısı delme işlemi için uygundur. Elmasların daha homojen yayılması ve boyutlarının aynı olması takım ömrünü daha da uzatabilir. Bağlayıcı yapının yoğun olması delme matkapları için tercih edilen bir durumdur. Delme işleminde ilerleme ve delme işlemi matkap tarafından yapılır ve oluşan kuvvetler yüksektir. Birim alana düşen aşındırıcı elmas oranı cam rodaj işleminde kullanılan disklerine göre daha fazladır.

## 7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Günümüz endüstrisinde birçok alanda cam kullanılmaktadır. Camın kullanım alanları günden güne genişlemektedir, bu yüzden çok yüksek miktarda camın işlenmesine ve delinmesine gereksinim duyulmaktadır. Delik delme işlemi cam endüstrisinde yüksek oranda kullanılmaktadır.

Cam üretiminin hızlı ve doğru toleranslarda yapılabilmesi için birçok çalışma yürütülmüştür. Bizde bu kapsamda düz camın delinmesinde kullanılan üç farklı kimyasal bileşime sahip matkaplarla farklı deneyler gerçekleştirdik. Bu deneyleri Bolu'da bulunan beyaz eşya sektörüne cam üretimi yapan bir firmada yaptık. Deneylerde kesme parametreleri aynı alınmıştır. Deney sonrasında matkapların SEM ve EDS analizi yapılmıştır.

İncelenen matkaplar arasında bir nolu matkap en az ömre sahiptir. İki nolu matkap ömür açısından bir nolu matkaba göre daha iyi sonuç vermiştir. En yüksek takım ömrüne sahip olan matkap ise üç nolu olandır.

Ömür farklılıklarının nedenleri araştırıldığında ise matkapların kimyasal bileşiminin işlenen cam deliklerinin aksel kaçıklığına etki ettiği daha önceki çalışmalardan anlaşılmıştır (Harmancı, 2018). Ayrıca takımın kimyasal yapısı matkap ömrünü de etkilemektedir. SEM sonuçları incelendiğinde delme takımlarında bakırın temel matris malzeme olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Matkap ömrünü artırmak için bakır matrisli malzemeye 3 nolu takımdaki gibi demir eklenebilir. Eklenen demir malzeme ile matkapta belli miktarda ömür artışı gözlenmiştir. Ömür artışı sağlanırken delik aksel kaçıklığında değişimler görülmüştür (Harmancı, 2018). Uzun takım ömrüne sahip matkap kullanılıp takım maliyeti düşürülebilir.

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmasının amacı; düz cam delme işlemini ayrıntılı bir şekilde incelemek, daha önceki çalışmalarda belirlenmiş olan işlem parametreleri kullanarak farklı kimyasal yapıya sahip matkaplar oluşturmak ve farklı yapılara sahip üç çeşit matkabı ömür açısından karşılaştırıp uygun kimyasal birleşimi bulup endüstrinin hizmetine sunmaktır.

Bu çalışmada ilk önce cam malzemenin anlaşılması için gerekli kavramlar ve detaylar açıklanmıştır. Cam malzemenin tarihsel gelişimi detaylı olarak verilmiştir. Camın kimyasal yapısı ve üretim yöntemlerine değinilmiştir. Düz camın delinmesinde kullanılan teknoloji tanıtılmıştır. Deney numuneleri daha önceki bölümlerde belirtilen tezgahta delinmiştir.

Türkiye’de üç farklı firma tarafından üretilmiş farklı kimyasal bileşime sahip matkap takımlarla yapılan deneyler sonucunda, kesici takım kimyasal bileşiminin takım ömrüne etki ettiği görülmüştür. Matkap ömrünü artırabilmek için üç nolu matkapta olduğu gibi bakır bazlı yapıya demir eklenebilir. Bu sayede aynı parametrelerde 3116 dak takım ömrüne çıkılmıştır. Fakat diğer çalışmalar incelendiğinde demir eklenmesiyle yüzey kalitesinde kötüleşmeler görülmektedir (Özbek, 2018). Üç nolu matkap (D3) ile delinme sonucu elde edilen yüzey pürüzlülüğü müşteri tarafından uygun görüldüğü takdirde bu matkabın kullanımı ömür artışı sağlayacaktır. Delme işleminde kullanılan takımların cam rodaj disklerine göre daha sert ve daha kuvvetli bağlayıcıya sahip olması gerekir. Delme işleminde cam delineceğinden ve matkabın ince bir kalınlıkta mukavemet göstermesi lazımdır.

Farklı kimyasal yapıya sahip takımlar delme işleminde kullandıktan sonra ömür açısından değerlendirilmiştir. Bu sayede endüstride kullanılan düz camların delinmesinde kullanılacak en uygun kimyasal birleşime sahip takım bulunmuştur. Belirlediğimiz kimyasal birleşime sahip matkap bundan sonra Bolu’daki cam fabrikasında kullanılmaya başlanmıştır.



Karışım oranı yaklaşık olarak % 53 bakır, % 11 demir, % 4.4 çinko olan ve elmas parçacığı içeren matkap (D3) ömür açısından kullanıma daha uygundur. İleriki çalışmalarda, farklı delme parametreleri ile deney yapılarak optimizasyon tekniği ile birlikte en uygun delme parametreleri bulunabilir. Matkap içindeki elmas parçacıklarının boyutu ve sayısı değiştirilerek farklı kompozisyonlarda delme takımları oluşturulabilir ve test edilebilir.



## 9. KAYNAKLAR

- 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.
- Aktaş N (2014) Camların Fiziksel Özellikleri, <https://prezi.com/k9mct8fxxzwx/camlarin-fiziksel-ozellikleri/>, (18.03.2018)
- 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.
- 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.
- Callister DW (2007) Materials Science and Engineering AnIntroduction, Utah University, Utah, U.S.A.
- 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.
- Demirkesen E (1992) Camlar ve Cam Seramikler Ders Notları, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- 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.

- 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.
- Harmancı F (2018) Camın Delinmesinde Kullanılan Delme Parametrelerinin İstatistiksel Yöntemlerle Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, AİBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 96s, Bolu.
- Hof, L., & Abou Ziki, J. (2017). Micro-hole drilling on glass substrates—A review. Micromachines, 8(2), 53.
- 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.
- Karaağaç M (2017) Düz Camın Yüksek Basıncılı 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, Biryen 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.
- Kocabağ D (2005) Camların Kimyası ve Özellikleri, Birsen Yayınları, İstanbul,
- 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 Camcılığında 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.
- Li H, Wang J, Kwok, N, Nguyen T ve Yeoh GH (2018). A study of the micro-hole geometry evolution on glass by abrasive air-jet micromachining. Journal of Manufacturing Processes, 31, 156-161.
- Martin SW, Lecture Notes - Iowa State University, Iowa, U.S.A, <http://mse.iastate.edu/who-arc/people/faculty/Steve-W-Martin.html>, Nisan, 2005.
- Megep (2008) “Seramik ve Cam Teknolojisi Camın Kimyasal Yapısı”, MEB, Ankara.
- Mühendishane, Amorf Yapıdaki Seramikler, <https://muhendishane.org/kutuphane/temel-malzeme-bilgisi/amorf-yapidaki-seramikler/>, 19 Kasım 2018.
- 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.
- Özbek K (2018) Düz Camın Rodajlanmasında Kullanılan Kesme Parametrelerinin İstatistiksel Yaklaşımla Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, AİBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 86s, Bolu.

- Özdemir D, Mecit HD, Seventekin N ve Öktem T (2006) “Cam Lifleri”, Dergipark Tekstil ve Konfeksiyon, 16(1): 281-287.
- 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.
- Öztürk S (2018). Grinding of flat glass with Fe-and Cu-based diamond tools. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 232(9), 1561-1568.
- Persson HR (1983) “Glass Technology, Manufacturing and Properties”, Cheong Moon Gak Publ.Co., Seoul-Korea, 25-27.
- Razfar MR, Behroozfar A ve Ni J (2014). Study of the effects of tool longitudinal oscillation on the machining speed of electrochemical discharge drilling of glass. Precision Engineering, 38(4), 885-892.
- Reckens JLM (1998) “Facades and Architecture, Fascination in Aluminium and Glass”, TU Delft.
- Sharma A, Jain V ve Gupta D (2018). Characterization of chipping and tool wear during drilling of float glass using rotary ultrasonic machining. Measurement, 128, 254-263.
- Sharma A, Jain V ve Gupta D (2019). Tool Wear Analysis While Creating Blind Holes on Float Glass Using Conventional Drilling: A Multi-shaped Tools Study. In Advances in Manufacturing Processes (pp. 175-183). Springer, Singapore.
- 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.
- 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](http://kisi.deu.edu.tr//kamile.tosun/13._Camlar.pdf), 26 Nisan 2018.
- Tönshoff HK, Spintig W, König W ve Neises A (1994) “Machining of Holes Developments in Drilling Technology”, Annals of the CIRP, 43(2): 551-561.
- Uçkan O, Yelda B (2008) Cam Tarihine Genel Bir Bakış. Anadolu Sanat, Sayı:19,97-110.
- Ünal O (2017) Cam Malzemeler, [http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi\\_malzemesi/icerik/cam.htm](http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/icerik/cam.htm), 22 Kasım 2017.
- 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.
- Yamane M, Asahara Y, Glass Properties, Cambridge University Press (2000)
- 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.
- Yılmaz Ş (2008) Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Cam ve Cam-seramik Malzemeler ders notları, Sakarya
- Yüksel B (2007) %20–35–50 LAS4 İçeren LS2- LAS4 Camlarının Kontrollü Kristalizasyonu, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- 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

<b>Adı Soyadı</b>	:Fatih ÖZTÜRK
<b>Doğum Yeri ve Tarihi</b>	:İstanbul, 18.06.1998
<b>Lisans Üniversite</b>	:Trakya Üniversitesi
<b>Elektronik posta</b>	:fatiz182@hotmail.com
<b>İletişim Adresi</b>	:Sultanbeyli / İSTANBUL

