

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



DÜZ CAM ÜRETİMİNDE TEMPER PARAMETRELERİN
UFALANMAYA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜLYA AKDAŞ

BOLU, EYLÜL - 2019

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



DÜZ CAM ÜRETİMİNDE TEMPER PARAMETRELERİN
UFALANMAYA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜLYA AKDAŞ

BOLU, EYLÜL - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Hülya AKDAŞ tarafından hazırlanan “DÜZ CAM ÜRETİMİNDE TEMPER PARAMETRELERİN UFALANMAYA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 13.09.2019 tarihinde savunularak Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

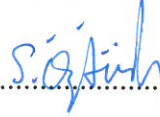
Jüri Üyeleri

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

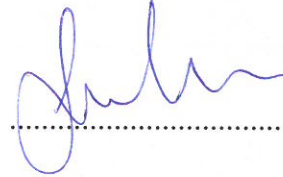
Üye
Prof. Dr. Murat PAKDİL
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DAL
Sakarya Üniversitesi

İmza

.....


.....


.....


Prof. Dr. Ömer ÖZYURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Saygı Değer Hocam ve Aileme,

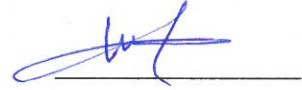
ETİK BEYAN

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.

Hülya AKDAŞ



ÖZET

**DÜZ CAM ÜRETİMİNDE TEMPER PARAMETRELERİN
UFALANMAYA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HÜLYA AKDAŞ
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. SABRİ ÖZTÜRK)**

BOLU, EYLÜL - 2019

Son yıllarda cam, hayatımızın her alanında kullanılmaya başlanmıştır. Camda yüksek mukavemet ve güvenli parçalanma özelliği istenen yerlerde temperli camların seçilmesine özen gösterilmektedir. Temperlenmiş camlarda mekanik dayanım yüksektir. Bu sebepten dolayı temperli cam kullanımı, bütün sektörlerde önem kazanmıştır. Bu çalışmada, temper parametreleri ve temperli camın ufalanma davranışının bir göstergesi olan parçacık sayısı arasındaki ilişkinin anlaşılması amaçlanmıştır. Bu yüzden parçacık sayısının fırın hızı, fan frekansı ve quench mesafesine göre değişimi incelenmiştir. Deneysel yöntemler, beyaz eşya sektörü için temperli cam üretimi yapan bir işletmede, birbirinden farklı fırın hızı, fan frekansı ve quench mesafesi değerleri kullanılarak uygulanmıştır. İstenen parçacık sayısına göre en uygun parametre değerlerinin bulunması için bir bulanık mantık modeli oluşturulmuştur ve deney modellenmiştir. Verilerin analizinde Matlab paket programının Fuzzy Logic araç kutusu kullanılmıştır. Oluşturulan model, parçacık sayısının temper parametrelerine göre anlık tahminini mümkün hale getirmiştir. Elde edilen verilerin analiz edilmesi sonucu parçacık sayısının, fan frekansı ve quench mesafesi değeri yükseldikçe arttığı, fırın hızı arttıkça ise azaldığı anlaşılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Temperli Cam, Cam Temperleme, Parçacık Sayısı, Dağılıma Davranışı, Bulanık Mantık

ABSTRACT

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TEMPER PARAMETERS ON
FRAGMENTATION IN FLAT GLASS PRODUCTION
MSC THESIS
HÜLYA AKDAŞ
BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. SABRİ ÖZTÜRK)**

BOLU, SEPTEMBER 2019

In recent years, glass has started to be used in all areas of our lives. Where high strength and safe disintegration is required in glass, it is paid attention to select tempered glass. Tempered glass has high mechanical strength. For this reason, the use of tempered glass has gained importance in all sectors. In this study, it is aimed to be understood the relationship between the temper parameters and the number of particles which is an indicator of the fragmentation behaviour of tempered glass. Therefore, the variation of the particle number according to the furnace speed, fan frequency and quench distance was investigated. Experimental methods were applied by using different furnace speed, fan frequency and quench distance values in a company producing tempered glass for the white goods sector. A fuzzy logic model was created to find the most suitable parameter values according to the desired number of particles and the experiment was modeled. The Fuzzy Logic toolbox of Matlab software was used for data analysis. The model made possible instant estimation of the particle count according to the temper parameters. As a result of the analysis of the obtained data, it was found that the number of particles rised with increasing fan frequency and quench distance value and fell with increasing oven speed.

KEYWORDS: Tempered Glass, Glass Tempering, Particle Count, Fragmentation Behaviour, Fuzzy Logic

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ.....	xii
TEŞEKKÜR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ.....	3
3. CAM.....	6
3.1 Camı Oluşturan Ana Maddeler.....	8
3.2 Camın Özellikleri	9
3.2.1 Camların Fiziksel Özellikleri	9
3.2.2 Camların Kimyasal Özellikleri	11
3.2.3 Camın Optik Özellikleri	12
3.2.4 Camın ısı özellikleri	12
3.2.5 Camların Mekanik Özellikleri	12
3.3 Camın Tarihçesi.....	13
3.4 Camın Dünya Ekonomisi Üzerindeki Durumu	16
3.5 Camın Türkiye’ deki Genel Durumu	16
3.6 Camın Üretim Yöntemleri.....	17
3.6.1 Düz Cam	17
3.6.2 Sanayi Cam	18
3.6.2.1 Temperlenmiş Camlar	18
3.6.2.2 Lamine Camlar	20
3.6.2.3 Isıya Dayanıklı Camlar	20
3.6.2.4 Teknik Camlar	20
3.6.2.5 Sınai Kaplar	21
4. CAM ÜRETİMİ.....	22
4.1 Ana Bileşenlerin Hazırlanması.....	22
4.2 Ergitme.....	22
4.2.1 Erimiş Camdaki Özellikler	22
4.3 Biçimlendirme	23
4.4 Camın Tavlanması.....	24
4.5 Camın Temperlenmesi	25
4.5.1 Camın Genel Dayanımı	27
4.5.2 Temperli Camın Mukavemeti	27

4.5.3	Temperlemede Ham Camın Kalitesindeki Önem	28
4.5.4	Low-E Kaplamalı Camlar	29
4.5.5	Cam Kesme	29
4.5.6	Camın Kenar İşlemesi	30
4.5.7	Cam Temperleme İşlemi.....	32
4.5.8	Isıtmada Yaşanan Problemler	35
4.5.9	Camı Soğutmada Yaşanan Problemler	39
4.5.10	Camda Gerilme Oluşturmak	40
4.5.11	Temperli Camın Kırılması	40
4.5.12	Temperli Camın Sağladığı Faydalar.....	43
4.5.13	Temperli Camın Tarihi	43
5.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	44
5.1	Materyal	44
5.1.1	Deneylerde Kullanılan Camın Özellikleri	44
5.1.2	Temperlemede Kullanılan Fırın Ve Özellikleri	45
5.2	Yöntem.....	49
5.2.1	Deneylerin Yapılışı.....	49
5.2.2	Deney	51
5.2.3	Parçacık Sayısı	52
5.2.4	Sayısal Olarak Sonuçlar.....	54
5.2.5	Bulanık Mantık (Fuzzy Logic).....	55
5.2.6	Bulanık Küme Teorisi	58
5.2.7	Deney Tasarımı	60
5.2.8	Bulanık Mantık Tabanlı Model.....	62
5.2.9	Bulanık Kuralların Yapısı.....	63
6.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	68
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	72
8.	KAYNAKLAR	73
9.	ÖZGEÇMİŞ.....	78

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. SiO ₂ 'nin Kristal (a) ve Amorf (b) Yapısı	1
Şekil 2.1. Obsidyen.....	3
Şekil 2.2. Obsidyen Taşı	4
Şekil 2.3. Üretilen İlk Cam Örnekleri.....	4
Şekil 3.1. Camın Temel Silis Yapısı.....	7
Şekil 3.2. Camsı, Sıvı ve Katı Haller Arasındaki İlişki	7
Şekil 3.3. Genel Cam Türlerinin Sıcaklığa Göre Değişken Viskozitesi.....	10
Şekil 3.4. M.Ö 1-6. Yüzyılın İkinci Yarılarındaki Cam Eserler	13
Şekil 3.5. İlk Cam Örneklerinden Kolye Parçaları.....	14
Şekil 3.6. Düz Cam.....	17
Şekil 3.7. Camın Kullanım Alanları.....	18
Şekil 3.8. Temperli Cam	19
Şekil 3.9. Temperli Camın Kırılmış Hali.....	19
Şekil 3.10. Lamine Cam.....	20
Şekil 3.11. Sınai Kaplar.....	21
Şekil 4.1. Camlaşma Özelliğindeki Maddenin Hacim-Sıcaklık Grafiği.....	23
Şekil 4.2. Camın Tavlama Planı.....	24
Şekil 4.3. Temperli Cam Kesiti.....	26
Şekil 4.4. Temperli Cam Bükme Testi	28
Şekil 4.5. Düzgün Cam Kesimi ve Kopması.....	29
Şekil 4.6. İyi Olmayan Bir Kopma	30
Şekil 4.7. İyi Yapılmış Bir Rodajlama Örneği	31
Şekil 4.8. Kötü Yapılmış Zımpara Örneği	31
Şekil 4.9. Soğutma Sırasında Kırılan Cam.....	32
Şekil 4.10. Temperli Camın Yan Kesit Görünüşü.....	32
Şekil 4.11. Temper Hattı.....	33
Şekil 4.12. Camın Fırın İçinde Isınma Hızı	34
Şekil 4.13. Asimetrik Isıtma.....	35
Şekil 4.14. Fırın İçinde Kamburlaşma	36
Şekil 4.15. Temperleme Fırınından Termal Kamerayla Alınan Görüntü	36
Şekil 4.16. Cam Temperleme Fırınında Çeşitli Kayıpların Termal Kamerayla Tespiti	38
Şekil 4.17. Köşe Çapaklanma Nedeni.....	38
Şekil 4.18. Cam Kalınlığına Göre Soğutma Basıncı Eğrisi	39
Şekil 4.19. Temperli Camda Gerilim Dağılımı	40
Şekil 4.20. Kırma Testi İçin Belirlenen Vurma Noktası.....	41
Şekil 4.21. Parça Sayımında Kullanılmayan Bölge.....	41
Şekil 4.22. Temperlenmemiş Camda Kırılma	42
Şekil 4.23. Temperli Cam (tipik kırılma).....	43
Şekil 5.1. Sürekli Temper Fırını.....	45
Şekil 5.2. Temper Fırınının Giriş Kısmı	46
Şekil 5.3. Fırındaki Hareket Mekanizması.....	48
Şekil 5.4. Temperlenmiş Camın Kontrol İçin Hazırlanması.....	53
Şekil 5.5. Camın Kırılmak İçin Hazır Hali	53

Şekil 5.6. Temperli Cam ve Çekiç.....	53
Şekil 5.7. Temperli Camın Kırılmış Hali ve Ölçüm Şablonu	54
Şekil 5.8. Bulanık Çıkarsama Sisteminin Genel Görünümü.....	57
Şekil 5.9. Klasik Küme Teorisi Şekli	59
Şekil 5.10. Bulanık Mantıkta Küme Teorisi	59
Şekil 5.11. Giriş ve Çıkış Parametreleri Modeli	60
Şekil 5.12. Deneysel Kurulum	62
Şekil 5.13. Bulanık Kuralların Bir Kısmı	65
Şekil 5.14. Giriş Değişkeni Olan Fırın Hızı İçin Üyelik Fonksiyonu	66
Şekil 5.15. Giriş Değişkeni Olan Fan Frekansı İçin Üyelik Fonksiyonu	66
Şekil 5.16. Giriş Değişkeni Olan Quench Mesafesi İçin Üyelik Fonksiyonu... 66	
Şekil 5.17. Çıkış Değişkeni Olan Sekürit İçin Üyelik İşlevi	67
Şekil 6.1. Fırın Hızı ve Fan Frekansı Girişlerine Göre Sekürit Değeri	68
Şekil 6.2. Fırın Hızı ve Quench Mesafesi Girişlerine Göre Sekürit Değeri	69
Şekil 6.3. Fan Frekansı ve Quench Mesafesi Girişlerine Göre Sekürit Değeri. 70	
Şekil 6.4. Deneydeki 105 – 37 - 6 Girdilerine Göre Durulaştırma Sonucu	71



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1. Cam Kalınlığına Göre Minimum Parça Sayısı Tablosu.....	42
Çizelge 5.1. Temperleme İşlemi Proses Parametreleri.....	49
Çizelge 5.2. Deney Boyunca Sabit Tutulan Isıtma Parametreleri.....	51
Çizelge 5.3. Deney Boyunca Sabit Tutulan Soğutma Parametreleri.....	52
Çizelge 5.4. Deney Boyunca Değişken Olan Parametre Değerleri.....	52
Çizelge 5.5. Deney Sonucunda Elde Edilen Sayısal Sonuçlar.....	55
Çizelge 5.6. Deney Boyunca Değişken Olan Giriş Parametre ve Seviyeleri....	60
Çizelge 5.7. Deney Çizelgesi.....	61
Çizelge 5.8. Soda-Kireç Camı Kimyasal Analizi.....	62
Çizelge 5.9. Değişken Temper Parametreleri ve Dilsel Değişkenler.....	63
Çizelge 6.1. Deney Yapılmadan Bulunan Ara Değerler.....	70

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

%	: Yüzde
°C	: Celcius Derece
As₂O₃	: Arsenik Trioksit
B₂O₃	: Bor Oksit veya Diboran Trioksit
BaO	: Baryum Oksit
CaCO₃	: Kalsiyum Karbonat
CaO	: Kalsiyum Oksit
cm	: Santimetre
cm²	: Santimetrekare
CO₂	: Karbon Dioksit
D	: Değişken
Hz	: Hertz
K	: Saydamlık
K₂O	: Potasyum Oksit
KNO₃	: Potasyum Nitrat
Kw	: Kilowatt
Li₂O	: Lityum Oksit
m	: Metre
MgCO₃	: Magnezyum Karbonat
MgO	: Magnezyum Oksit
mm	: Milimetre
MnO₂	: Manganez Di Oksit
MÖ	: Milattan Önce
MPa	: Megapascal
MS	: Milattan sonra
Na₂O	: Sodyum Oksit
Na₂SO₄	: Sülfür
NaCO₃	: Sodyum Karbonat
P₂O₅	: Fosfor Pentoksit
PbO	: Kurşun Oksit
PVB	: Polivinil butral
Rpm	: Bir Dakikada Gerçekleşen Devir Sayısı

S	: Sabit
SiO₂	: Silisyum Dioksit
sn	: Saniye
Te	: Dönüşüm Sıcaklığı
Tg	: Cam Geçiş Sıcaklığı
yy.	:Yüzyıl
ZnO	: Çinko Oksit



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleőtirilmesi esnasında, değerli bilgilerini esirgemeyen, faydalı olabilmek için elinden geleni yapan ve yol gösteren saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Sabri ÖZTÜRK' e, bu çalışmanın analiz kısmında değerli zamanını bana ayırıp destek olan Arő. Gör. Habibullah BİLGE' ye ve bana yardımcı olan Bolu Yorim Cam fabrikasındaki görevlilere sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

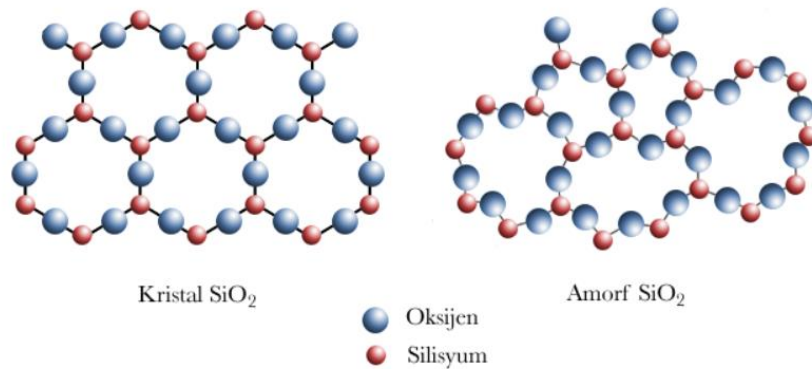
Hayatımın her döneminde bana destek olan, kararlarımda arkamda duran anneme ve babama, bu zorlu süreçte desteğini esirgemeyen, yardımcı olan değerli eőim Hakan AKDAŞ' a ve karnımda atan küçücük kalbiyle zaman zaman bana zorluk çıkaran bebeğime çok teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Çok eski zamanlardan bugüne kadar birçok medeniyette rastladığımız cam, sanatta ve endüstriyel malzeme olarak insanların en çok ihtiyaç duyduğu ve kullandığı malzeme olmuştur. Kullanılmaya başlanan cam fırınlarının, geliştirilmesiyle cam sanatında büyük aşamaya ulaşılmıştır (Arslan, 2013).

Cam malzemesi amorf yapıda katı bir malzemedir. Bu yapıda olduğu için davranışı sıvı haldeki bir malzemeye benzemektedir. Sıvılardaki önemli özelliklerden olan viskozite camda da vardır. Akış süresi çok uzun olan bir maddedir. Camı, katı malzemeler ile karşılaştırırsak camda belli bir erime sıcaklığı yoktur. Bu sebeple cam davranışı bakımından sıvı bir malzeme ama katı bir faz olarak tanımlanabilir (Karaağaç, 2017).

Cam, diğer madenlere göre çok daha önemli olan değişkenliğe sahiptir. Değişkenlikten kasıt camın erime noktası yerine, yumuşama noktasının bulunmasıdır. Bu özellikten dolayı, camın olduğu ortam sıcaklığı artırılırsa cam, belli bir süre sonra sıvılaşır ve akıcılık kazanır. Cam malzemedeki atomların dizilişi sıvılardaki gibi rastgeledir (Şekil 1.1). Cam, kıvrımlı olan bir malzemedir. Bundan dolayı, cam yerçekiminden etkilenmez ve aldığı şekli korumak ister (Küçükerman, 1985).



Şekil 1.1. SiO₂' nin Kristal (a) ve Amorf (b) Yapısı (<https://muhendishane.Org/kutuphane/temel-malzeme-bilgisi/amorf-yapidaki-seramikler/>).

Cam esnek olmayan ve kırılğan olan bir malzeme olmasına karşın, şeffaflığı ve estetik görüntüsünden dolayı endüstriyel alanlarda çok fazla kullanılır (Akçay vd., 2014).

Sıvı camda sertleşme gibi farklı özellikler kazandırmak için çeşitli kimyasal maddeler (soda, boraks vb.) kullanılmaktadır. Camın oluşumu tamamen soğutulma hızlarına bağlıdır ve atomlar arasında olan kovalent ve iyonik bağların yapısına ihtiyaç duyarlar. Sıvı halde iken soğuma aşamasına gelen cam malzeme, herhangi bir ağ oluşturmaktadır (Megep, 2008).

Cam üretimi önemli bir işlemdir. Ancak bunun yanında camın işlenmesi de büyük önem taşımaktadır. Camın işlenmesi sırasındaki temel işlemler şu şekildedir; cam malzeme üretimi, cam kesimi, kenar işleme, rodajlama yapmak, delik delme, baskı yapma ve temperlemedir (Karaağaç, 2017).

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Camın çok eski tarihe dayanan bir geçmişi bulunmaktadır. Doğal hammaddelerin karıştırılması sonucu meydana gelir. Camın ne zaman meydana geldiği tam olarak belli olmamasına rağmen 4000 yıl önce ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Doğada katkısız olarak bulunmayan cam, insan eliyle oluşturulur. Temelde sıvı olarak değerlendirilen cam, elle tutulduğunda sert bir yapıya sahiptir (Uçkan, 2008).

Doğada obsidyen ve kuvars olarak bulunan cam malzemeler, milyonlarca yıl önce volkanik patlamalar olmasından dolayı silikanın ergimesiyle obsidyen meydana getirmiştir. Obsidyen, koyu kırmızımsı, kahverengi ve yarı geçirgen bir maddedir. Ayrıca pencere camı olan soda, kireç ve silikanın kimyasal bileşimlerine benzerdir (Şekil 2.1). Obsidyen maddelerin şu anki kullanımından farklı olarak önceden bıçak, balta ve mızrak ucu olarak kullanılmaktaydı (Harmancı, 2018).



Şekil 2.1. Obsidyen (<https://www.degerlidogaltas.com/obsidyen/>).

Günümüzde obsidyen camı, volkan camı olarak bilinip, yanardağların ani şekilde soğuması ile meydana gelmektedir. Kristalleşme olmadan direkt olarak

donma noktasına geldiğinden kenarları ince ve keskindir. İnce ve keskin olmasından dolayı silah ve süs eşyası üretiminde gerek duyulmuştur (Şekil 2.2) (Saygun, 2017).



Şekil 2.2. Obsidyen Taşı (Saygun, 2017).

Çok önceden camlar masif kütleler şeklindeydi. Şekli camlar daha ortada yoktu. Bu yüzden insanlar çamurdan ya da tahtadan kalıp yaparak camı şekillendirmek istemişlerdir. Eriyik haldeki cam bu kalıpların etrafına sarılmasından sonra işlem tamamlanınca tahta ya da çamur kalıp çıkarılarak sona ermekteydi. MÖ 1200’lerde açık bir kalıba bastırılarak yapılmaktaydı (Aydın, 2015).

Cam üretilmesinin kolay olması açısından bakarsak, uygun kumun çok bulunduğu ve seramik yapımının geliştiği bölgelerde üretilmektedir. Geçmişte seramik yapımı daha fazla gelişmişti. Bu olguya bakarsak eğer Mezopotamya, Mısır ve Akdeniz gibi yerlerde cam malzeme örnekleriyle karşılaşmak mümkün olmaktadır (Şekil 2.3) (Harmancı, 2018).



Şekil 2.3. Üretilen İlk Cam Örnekleri (<http://arkeofili.com/cam-uretimi-mezopotamya-da-degil-misirda-baslamis-olabilir/>).

Camda bulunan mekanik ve fiziksel özelliklerden dolayı, astronomi, uçak, mobilya vb. endüstri alanlarında kullanılmaktadır (Karaağaç, 2017). Cam, camın temperlenmesi ve tanecik sayısı ile ilgili birçok araştırmacı çalışmalar yapmıştır (Akçay vd, 2014; Akçay vd, 2016; Aktaş, 2014; Arslan, 2013; Aslan, 2007; Aydın, 2015; Davidson, 2003; Duman vd, 2018; Foraboschi, 2014; Groover, 2007; Günay vd, 2010; Harmancı, 2018; Kaner, 2008; Kantur, 2009; Karaağaç, 2017; Kocabağ, 2002; Küçükerman, 1985; Maviş, 2018; Megep, 2008; Megep, 2012; Megep, 2013; Nielsen, 2016; Orbay, 2007; Öbelik, 2011; Öcal vd, 2017; Özek vd, 2004; Persson, 1983; Sayuti vd., 2011; Şaka, 1999; Tavukçu, 2015; Türkbaş vd, 2007; Tobb, 2012; Tosun, 2013; Tütünoğlu vd, 2012; Ünal, 2017; Yazar vd, 2013; Zanotto vd, 2017). Yapılan bu bütün çalışmalarla teknoloji gelişmeye devam etmekte ve bazı çalışmanın hala üzerinde durulduğu bilinmektedir.

3. CAM

Cam, içerisinde kristal bulundurmeyen (amorf) bir yapıda olan bütün katıları kapsayan, sıvı halden ısıtıldığında cam geçişi sergilemekte olan bir malzemedir (Zanotto ve Mauro, 2017).

Cam pencere, kap, alet ve birçok nesneye form veren şeffaf, kırılğan ve düzensiz kimyasal bir yapıya sahip malzemedir (Davidson, 2003).

Cam malzeme günümüzde çok fazla kullanılan, aşırı sıcak ve soğuşa dayanabilen, katı ve şekilsiz bir üründür. Çevreyi kirletmez ayrıca geri dönüşümü kolaydır (Sayuti vd., 2011).

Cam maden olarak tanımlanmakta ve camın saydamlığı normalde sıvı olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer madenlerden ayıran özelliği erime noktasıdır. Isıtılan cam yumuşar ve istenilen şekil verilmektedir. Bu şekillendirme 800 – 1300 °C arasında olmaktadır. Camların sağlamlığı kullanılan silis oranıyla değişir.

Antik çağdan beri inşaatlarda, süs yapımında vb. yerlerde kullanılmaktadır. Camın ne zaman ve hangi çağda kullanılmaya başlandığı tam olarak bilinmemekle birlikte çok eski bir geçmişe sahip olduğu söylenmektedir. Üstünde tarih yazılmış olan en eski cam Firavun Amenhotep'in MÖ 1551 – 1527 tarihleri arasında yaptığı iri bir boncuktur (<https://www.bilgiustam.com/camin-icadi-ve-tarihcesi/>).

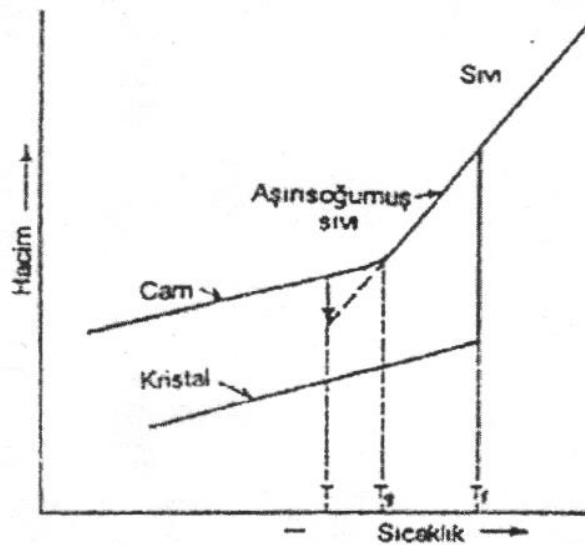
Cam; potas veya silis eklenmiş kumun düşük olmayan sıcaklıkta eritilmesiyle oluşan katı, saydam, çabuk kırılan ve kristalleşme göstermeyen bir malzemedir. Şekil 3.1' de camın temel silis yapısı gösterilmektedir. Ana maddesi (SiO₂) silikadır. Üretim esnasında hızlı soğuma gerçekleştiğinden dolayı cama sağlamlık ve saydamlık kazandıran amorf yapı (yarı düzenli yapı) meydana gelir. Bu oluşumun soğumasının ardından kristalleşme olmadan sıvı halden katı hale geçen madde veya maddeler topluluğudur. Çoğunlukla saydamdır ancak yarı saydam ya da opak olabilir (<http://www.nkfu.com/cam-nedir-camin-yapisi-ve-cam-cesitleri/>).



Şekil 3.1. Camın Temel Silis Yapısı (Megep, 2012, s. 3).

Diğer bir tanımı ise, hayatımızın birçok alanında karşımıza çıkan camın en önemli hammaddesi yer kabuğunun % 60' ına sahip olan silikadır ve diğer bir hammadde ise, tuz yataklarındaki buharlaşmadan meydana gelen sodyum karbonat, soda (NaCO_3) ve deniz organizmalarının artıklarının fosil haline gelmesiyle oluşan kireçtaşı (CaCO_3)' dır (Kocabağ, 2002).

Camı çok fazla soğutulmuş olan bir sıvıya benzeten araştırmacılar vardır. Cam ısıtılmaya başlandığı anda sıcaklığın yükselmesine bağlı olarak ilk başta yumuşar sonra akıcı bir hal alır. Bu şekilde sıvıya benzemektedir (Şekil 3.2). Cam için sabit bir erime noktası yoktur (Orbay, 2007).



Şekil 3.2. Camsı, Sıvı ve Katı Haller Arasındaki İlişki (Orbay, 2007, s. 3).

Kum, soda ve kireç ana maddelerinden meydana gelen cama, soda-kireçtaşı camı denilmektedir. Daha dayanıklı cam yapmak için, yeterli miktarda kireç taşı, tebeşir ve kurşun oksit eklenmelidir. Cama elimizle dokunduğumuzda serttir ve durağandır. Cam kırılğan bir malzemedir. Kırılğan olması sebebiyle sert bir yere vurulduğunda kırılmaktadır. Bu yüzden kimyacılar camı aşırı soğumuş olan bir sıvıya benzetirler (Megep, 2012).

3.1 Camı Oluşturan Ana Maddeler

Camı oluşturmak için bileşimine katılan üç çeşit madde bulunmaktadır. Oksit (camlaşıcı), eritici ve stabilizatör adı verilen maddeler cam halini alabilen maddelerdir. Adi camı oluşturmak için bileşimine katılan maddeler haricinde cam için önemli özellik kazandıran ve üretilmesi için birçok fayda getiren yardımcı bileşenler kullanılmaktadır (Ünal, 2017).

Camlaşıcılar: Ağ oluşturan oksitlerdir ve camlaşma özelliği bulunmaktadır. Örnek olarak kuvars kumu verilir. Bu ağ oluşturan oksitlerin bazıları SiO_2 , B_2O_3 ve P_2O_5 ' tir (Megep, 2012).

Eriticiler: Cam olabilen ve ağ oluşturabilen oksitlerdeki erimeyi kolaylaştırmak için cam bileşimine katılan malzemelere denir (<http://kimya.ertugrultavukcu.com/cam/>).

Erime sıcaklığını düşürerek erimeyi basit hale getirir. Silisin erime noktası $1713\text{ }^\circ\text{C}$ ' dir. Eriticiler bu $1713\text{ }^\circ\text{C}$ 'yi $1500\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye düşürür. Diğer bir adı da modifikatördür. Bunların bazıları Na_2O , K_2O , Li_2O ' dur (Ünal, 2017).

Stabilizatörler: Diğer adı sabitleştirici olan stabilizatörler, camın kimyasal mukavemetini, kırılma noktasını ve dielektrik özelliklerine etkide bulunur. İçerisinde sabitleştirici katılmamış bir cam malzeme su ile etkileşiminde sabit özellik göstermez. Böyle camlara su camı adı verilir. Bunlardan bazıları CaO , BaO , PbO , MgO ve ZnO ' dur (<http://www.renklinot.com/soru-cevap-2/cami-olusturan-maddeler-nelerdir.html>).

CaO CaCO₃'ün ve MgO MgCO₃'ün cam formülüne eklenmesiyle meydana gelmektedir. Bunların ısıtılmasıyla barındırdıkları CO₂ ortaya çıkar ve geride oksitler kalır. CaCO₃ → CaO + CO₂ gibi (Ünal, 2017).

Yardımcı Bileşenler: Bunlar genellikle adi camın formülünde bulunmazlar. Sadece camların üzerinde değişik etki sağlamak için kullanılmaktadır. MnO₂ cam rengini açık hale getirir, As₂O₃ (arsenik) renk verir, Na₂SO₄ (sülfür) redükleyicidir ve KNO₃ (potasyum nitrat) camdaki saydamlığı kaldırır (<http://www.renklinot.com/soru-cevap-2/cami-olusturan-maddeler-nelerdir.html>).

3.2 Camın Özellikleri

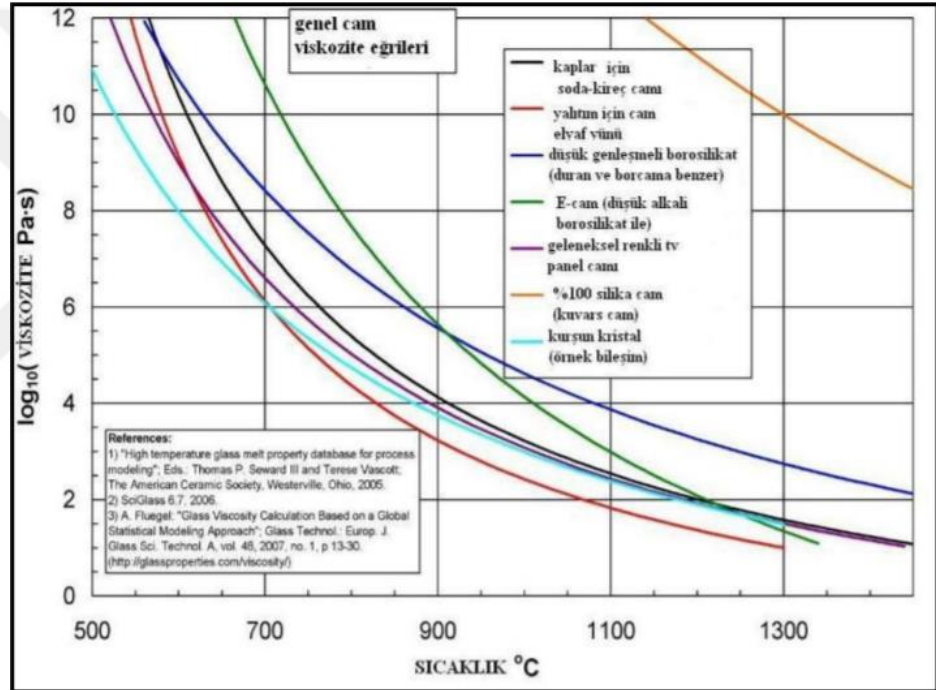
- Camda bulunan alkali miktarının fazla olması camın kimyasal mukavemetini zayıflatmaktadır. Ancak camda bulunan broksit, alüminyum oksit, çinko oksit, zirkonyum oksit ise camdaki kimyasal mukavemeti artırmaktadır.
- Cam yüzeyleri işlenirken camı matlaştırmak için hidroflorik asit kullanılmaktadır.
- Suyla etkileşebilecek her camın suya karşı kararlı olması için karışıma kireç katılması gereklidir (Aktaş, 2014).

3.2.1 Camların Fiziksel Özellikleri

Cam malzeme mekanik özellikler açısından çok güçlü bir yapıya sahip olmasına rağmen kırılma yönünden çok zayıf olduğu bilinmektedir. Cam ürünlerde çok az kusurlar bulunsadahi, camın atomları arasındaki bağların kopmasına sebep olduğundan kırılmalar meydana gelmektedir (Leitch, 2005).

Camların şekil alabilmesi için en önemli özelliği viskozitesidir. Viskozite her ne kadar kimyasal özellik gibi görünse de, camın üretim sıcaklığına göre değişim gösterir. Şekil 3.3' te cam türlerinin sıcaklığa göre viskozitelerinin değişimi görülmektedir (Öbelik, 2011).

- Camlar fiziksek olarak katıdır.
- Camların belli erime noktası bulunmamaktadır (<https://kimyaozelkonular.wordpress.com/konular/camlar-ve-seramikler/>).
- Saydamlık camdan geçen ışık miktarının gelen ışık miktarına oranı olup ve bu değer $K = \% 80 - 98$ civarındadır. Bu sebeple cam, en saydam olan plastik maddeden bile daha fazla saydamlığa sahip bir malzemedir.
- Kırma indisi camın yoğunluğuyla alakalı olup normal camda 1,52' dir. Bu indis kristal olan camda 1,60' dır.
- Camların yumuşaması için gerekli sıcaklık ise 500 - 600 °C civarındadır (Tosun, 2013).



Şekil 3.3. Genel Cam Türlerinin Sıcaklığa Göre Değişken Viskozitesi (<http://dspace.trakya.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/1/1420/0107352.pdf?sequence=1&isAllowed=y>).

Yoğunluk: Camlardaki yoğunluk değeri camın yapısına katılan ana bileşenlerin miktarına ve cinsine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Genelde cam çeşitlerinin yoğunlukları 2,2 ve 3,0 arasında değişiklik göstermektedir. Bazı camlarda bu değer 8 gibi değerlere ulaşmaktadır.

Sertlik: Mohs sertliğine dayanarak camdaki sertlik değeri 6 - 7 arasındadır ve bu seviyedeki sertlik camda çok iyi aşınma direnci oluşturur (<https://kimyaozelkonular.wordpress.com/konular/camlar-ve-seramikler/>).

3.2.2 Camların Kimyasal Özellikleri

Camın gaz ve sıvı maddelerle tepkimeye girme direncine kimyasal dayanıklılık adı verilmektedir (<https://www.1bilgi.com/endustri/1613/camin-yapisi-ve-ozellikleri.html>).

Mekanik açıdan cam çok güçlü bir üründür. Plastik deformasyon cam malzeme için istenmeyen bir durumdur. Cam ürün plastik deformasyon sınırını aştığında cam kırılabilir. Cam ürün üzerinde kırılmaya neden olan hava kabarcıkları ya da katı kalıntılar da bulunabilmektedir. Bunlar da camın kolay kırılmasında birer etkidir (Reckens, 1998).

- Camlar kimyasal yönden çok fazla maddeye karşı mukavemet göstermektedir. Sadece hidroflorik asit ve bazı alkali eriyikler cama etki etmektedir.
- Hidroflorik asit camın yüzey işleme sırasında camın matlık özelliği kazanması için kullanılır.
- Camlar çok uzun süre suyun etkisine maruz kalırsa yüzeyi ve özellikleri etkilenebilir.
- Cam malzemelerde özellikle basma ve çekme dayanımı, elastisite modülü ve Poisson oranı önemlidir.
- Cam kırılğan ve gevrek bir malzemedir. Bu yüzden darbelere karşı çok dayanıklı değildir. Sert bir yere çarptıklarında kırılır. Ama buna rağmen basınç dayanımı çok yüksek bir malzemedir.
- Cam maddelerin dayanıklılığı çekme mukavemeti ile belirlenir ve camın çekme mukavemeti 20 - 90 MPa' dır. Basma mukavemeti ise 500 - 900 MPa arasındadır. Aşınmaya dayanıklıdır. Camdaki elastisite modülü ise 45000 - 100000 MPa arasındadır. Camdaki Poisson oranı da 0.22'dir (Tosun, 2013).

3.2.3 Camın Optik Özellikleri

- Geçirgenlik, camın içinden ışığın geçmesi olarak bilinmektedir.
- Camın bir yanından bakılıp diğer yandaki cisimler net bir şekilde görünüyorsa böyle camlara saydam cam adı verilir.
- Işığın camın yüzeyinden geri dönmesine yansıma adı verilir. En önemli optik özellik yansımadır.
- Optik aletlerde yararlanılan diğer bir özellik ışığın kırılmasıdır (<https://www.1bilgi.com/endustri/1613/camin-yapisi-ve-ozellikleri.html>).
- Camdaki önemli optik özelliklerden biri de kırılma indisi olup, değişik camlarda bu değer 1,45 - 1,90 değerleri arasındadır (Öbelik, 2011).

3.2.4 Camın ısı özellikleri

Cam, ısıyı iyi iletmez. Camda izolasyon sağlayan, camların arasında bırakılan boşluklardır. Buna hava boşlukları da denilmektedir.

Cam içerisinde gerilimler meydana gelir ve aşırı olduğunda cam kırılabilir. Buna ısı gerilim denir. Isıl gerilim direnciyle kırılmaya, termik şok direnci denir (<https://www.1bilgi.com/endustri/1613/camin-yapisi-ve-ozellikleri.html>).

Laboratuvarlarda kullanılan gereçler, fırın kapları gibi bazı kapların termik şoka dayanıklı olması gerekmektedir (Öbelik, 2011).

3.2.5 Camların Mekanik Özellikleri

Camların kırılmaya karşı gösterdikleri dirence mekanik dayanıklılık denir. Diğer bir mekanik özellik ise esnemeye karşı gösterilen dirençtir. Esnemeye karşı gösterilen direncin diğer bir adı ise rijitliktir. Camdaki bileşiklerin kırılma dayanımına çok az etkisi olduğu kabul edilmektedir (Öbelik, 2011).

Camın üzerinde bir çizik var ise bu çizik camın kolay kırılmasına sebep olacaktır. Bu yüzden camın aşınma direncine sahip olması önemlidir (<https://www.1bilgi.com/endustri/1613/camin-yapisi-ve-ozellikleri.html>).

3.3 Camın Tarihçesi

Cam üretiminin insanlar tarafından ne zaman, nasıl ve nerede ortaya çıktığı net olarak bilinmese de çeşitli yorumlar yapılmaktadır (Axinte, 2011).

Cam yapımının keşfedilmesi sırasında iki aşama bulunmaktadır. İlk aşama kum, soda ve kireci ısıtarak başka bir malzeme yani cama dönüştürmedir. Bu malzeme çok sert ve pürüzü olmayan bir malzemedir. İkinci aşama ise, kimyasal maddelerin cam oluşturabilmesi için gerekli olan oranın bulunmasıdır (Aydın, 2015).

Cam, saydam, yarı saydam ve farklı renkleri olan ısı ile şekil alan bir malzemedir. Bu görünümünden ötürü çekicilik sağlamıştır (Uçkan, 2008).

Cam, çok eski zamanlardan beri günlük hayatımızda önemli bir yere sahip olmuştur. Vazolarda, kavanozlarda, sofr gereçlerinde ve bir çok yerde karşımıza çıkmaktadır (Şekil 3.4). 4500 yıldan bu yana camın kalitesi, katkı malzemeleri, üretilen şekiller çok büyük değişikliğe uğrayarak gelişim göstermiştir (Yazar ve Aslan, 2013).



Şekil 3.4. M.Ö 1-6. Yüzyılın İkinci Yarısındaki Cam Eserler (Aslan, 2007, s. 17).

Camın ne zaman ve nerede keşfedildiğine dair kesin bir kanıt bulunmamasına rağmen arkeolojik kalıntılara göre camın kaynağı Batı Asya diyebiliriz. İki cam parçasının büyük önem taşıdığı yerler arasında Sümer şehirleri gelmektedir. Irak' ta renkleri mavi - yeşil soluk tonda ve çok saydam olmayan bir cam parçası bulunmuştur. Arkeoloji raporlarına göre bu cam, Sargon zamanına (MÖ 2340 - 2284) ait olan eserlerle birlikte bulunmuştur. Mısır' da eski zamanlara ait camlar çok değildir. İki scarebeus ile boncuklar orta krallık döneminde cam üretiminin az olduğunu göstermeye yeterlidir (Yazar ve Aslan, 2013). İlk cam örneklerinden olan kolye parçaları Şekil 3.5' te gösterilmiştir.

MÖ 1200 yıllarında cam malzeme çok fazla bir işlemlemeden basit açık bir kalıba dökülüp sıkıştırılarak üretilmekteydi. Bizans zamanındaki cam işiyle uğraşan işçiler ustalık kazanmışlardır (Öcal vd., 2017).



Şekil 3.5. İlk Cam Örneklerinden Kolye Parçaları (Küçükerman, 1985, s. 46).

Romalılar mimari açıdan camı ilk kullananlardır. Magnezyum oksit bu dönemde camda bileşen olarak kullanılmıştır ve camda geçirgenliği çok iyi olmasa da pencerelerimizde kullanılabilecek camlar meydana getirilmiştir. MS 1000 yıllarında cam üretimi için hammadde sıkıntısı yaşanmıştır. Bundan dolayı ağaçlar yakılarak potasyum tuzları elde edilmiş ve cam üretiminde potasyum tuzları kullanılmıştır (Öbelik, 2011).

Düz camın ilk meydana getiren Romalılardır. Belli bir süre sonra Roma İmparatorluğu çökmüştür. Böylece Bizanslılar ve Araplar cam üretiminde ün kazanmıştır. İskenderiye doğuda 10. Yüzyıla kadar cam üretiminin öncüsü olmuştur. 15. Yüzyıldan sonra ise bu öncülüğü Şam sürdürmüştür (Günay ve Yılmaz, 2010).

Cam, eski çağlardan günümüze kadar gelen insanoğlunun birçok alanda kullandığı önemli bir malzemedir. Bizim kültürümüzde ise Artuklular zamanında cami ve medreselerin yapımında kullanıldığı söylenmektedir. Cam alanında, İstanbul Türk toprağı olduktan sonra 16 – 17 yüzyıllarda çok büyük ilerleme kat ettiği bilinmektedir. İlk cam fabrikası Cumhuriyet kurulduğu zamanlarda 1934 senesinde Türk topraklarının sınırları içerisinde inşa edilmiştir. Hayatımızda büyük öneme sahip olan Paşabahçe cam fabrikası da bu dönemde inşa edilmiş ve hala varlığını sürdürmektedir.

Sonraki senelerde cam fabrikalarının sayılarında büyük artış görülmüş ve dışarıya satım yapılmıştır. Şuanda ise cam, uzay teknolojisi ve iletişim aletleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Camı kullanabilmek için birkaç biçimlendirme yapılması gerekmektedir. Bu biçimlendirmeler; dökme, çekme, presleme, yüzdürme, köpük haline getirmedir (<https://bilgihanem.com/camin-icadi-cam-nedir/>).

İnsanların bulup ürettikleri en eski suni malzemelerden biri olan cama arkeolojik kazılarda rastlanmaktadır. Arkeolojik kazılarda bulunan camın MÖ 5500 yıllarına ait olduğu ve Mısır’ da bulunduğu bilinmektedir.

Her çeşit cam eşya 19. yüzyılın bitimine kadar el işçiliğiyle yapılmaktaydı ama günümüzde birkaç özel malzeme hariç cam işlerinin hepsi makinelerde hızlı bir şekilde üretilir. Bu iki üretim şeklinde de önemli olan model tasarısıdır. El işçiliğinde model çok eski bir zamanda tasarlanmış olsa bile yaparken değiştirilebilir. Makine üretiminde tasarım yapılır ve üretim yapılırken değiştirilemez (Tobb, 2012).

Bugün üretilmekte olan çok fazla cam türü vardır. En çok üretilen cam türü soda – kireç - silis camıdır. Bu cam üretimin % 95’ lik kısmını kapsamaktadır. Soda - kireç - silis camı genelde pencere ve şişe camlarında kullanılmaktadır. Bugünün teknolojisinde sofraya gereçleri, gözlüklerde ve lenslerde kullanılan camlar, pişirmede

kullanılan ocak üstü gereçleri, yalıtım ve aydınlatma malzemeleri gibi birçok alanda halen kullanılmaktadır (Harmancı, 2018).

3.4 Camın Dünya Ekonomisi Üzerindeki Durumu

Gelişmekte olan ekonomiye göre dünyadaki cam endüstrisi de senede ortalama % 2 - 4 değerinde gelişmektedir. Dünyada cam üretimi 120 milyon ton civarında olduğu öne sürülmektedir. Bunların % 45' i cam ambalaj, % 37' sini düz cam, % 3 – 4 oranını cam ev eşyası ve cam elyaf oluşturur. Geriye kalan % 10' luk kısmı diğer cam çeşitleri oluşturur. Toplam cam üretiminin % 30' u Avrupa' da, % 34' ü Asya' da, % 9' u ABD ve geri kalan kısmı da diğer bölgelerde olmaktadır (ASO, 2017).

3.5 Camın Türkiye' deki Genel Durumu

Camın üretilmesi için en gerekli malzemeler, kum, soda, dolomit ve kuvarzıdır. Bu kaynakların hepsi ülkemizde bulunmaktadır. Bu sebepten dolayı Türk cam sanayisi cam üretiminde tamamına yakını yerli hammadde kullanılmaktadır. Ülkemizde yaklaşık olarak 3,5 milyon ton üretim kapasitesi vardır (ASO, 2017).

Ülkemizde 200' ün üzerinde cam üreten ve işleyen firma bulunmaktadır. Bu firmalardan en büyük ve gelişmiş üretici firma olanı Türkiye Şişe ve Cam Sanayii Anonim Şirkettir. Bu şirkette cam hammaddeleri ve mamullerinin % 85' i üretilmektedir.

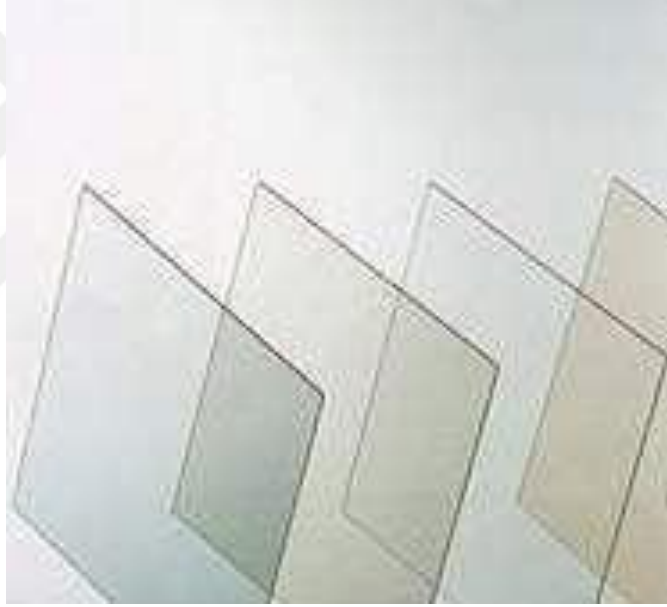
Ülkemizdeki cam sektöründe en yeni teknolojiler kullanılarak camlar üretilir. Cam üretiminde % 98 civarında yerli olan hammadde kullanılmaktadır. Ülkemizde cam üretimi bir milyon tondan daha fazladır. Bu bir milyon ton camın % 42' si düz cam, % 26' sı cam ambalaj, % 16' sı cam ev eşyası, % 5' i emniyet camları, % 4' ü buzlu - telli cam ve diğerleri de % 7 olarak dağılım göstermektedir (Öbelik, 2011).

3.6 Camın Üretim Yöntemleri

Birçok cam üretim yöntemi bulunmaktadır.

3.6.1 Düz Cam

Hammaddeler fırınlarda çok yüksek sıcaklıkta eritilir, şekil verilir, tavlânır ve kesilir. Düz cam bu şekilde meydana gelmektedir (Şekil 3.6). Genellikle pencerelerde kullanılan cam çeşididir. Düz cam kullanılarak ısı camlar, aynalar, lamine cam ve oto kapı ve camları üretilebilir. Bu cam türünde kalınlıklar 2 - 20 mm arasında değişmektedir.



Şekil 3.6. Düz Cam (Megep, 2008, s. 4).

Düz cam üretilirken kullanılan hammaddeler, kum feldspat, kalker, dolomit, soda, sodyum sülfat ve ayrıca bu karışıma % 20 - 35 oranında cam kırığı eklenmektedir. Ana madde her zaman silisyumdur.

Camın kullanım alanları Şekil 3.7' de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Camın Kullanım Alanları (Megep, 2008, s. 5).

Düz camların üretilmesi için gerekli fırınlar yüksek tonajlı ve sürekli türde olmalıdır. Şekillendirmede ise yatay çekme ve float yöntemlerine çok fazla rastlanmaktadır. Binalarda, pencerelerde, güvenlik camlarında ve temperli camların üretiminde düz camlar gereklidir (Megep, 2008).

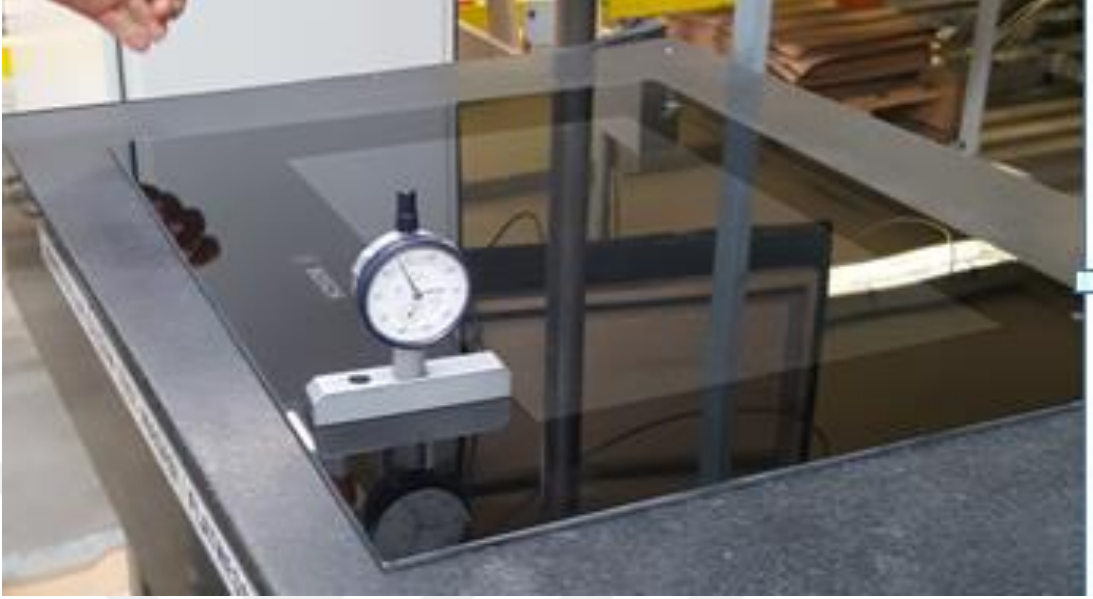
3.6.2 Sanayi Cam

Makine tezgah camları, market dolapları gibi mukavemeti yüksek olarak üretilen cam çeşididir (Megep, 2008).

3.6.2.1 Temperlenmiş Camlar

Camın dayanıklılığını artırmak için temperleme işlemi uygulanır. Özel fırınlarda erime noktası sıcaklığına kadar ısıtılır ve sonrasında hızlı bir şekilde soğutulur. Yüzey soğuduğunda büzülür ve sertleşir. Bu sırada iç kısımlar hala sıcaktır. İç kısımlardaki soğumanın da gerçekleşmesiyle camın yüzeylerinde basınç,

iç bölgede çekme gerilmesi gerçekleşir. Şekil 3.8’ de temperli cam gösterilmektedir. Şekil 3.9’ da ise temperli camın kırılmış hali gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Temperli Cam



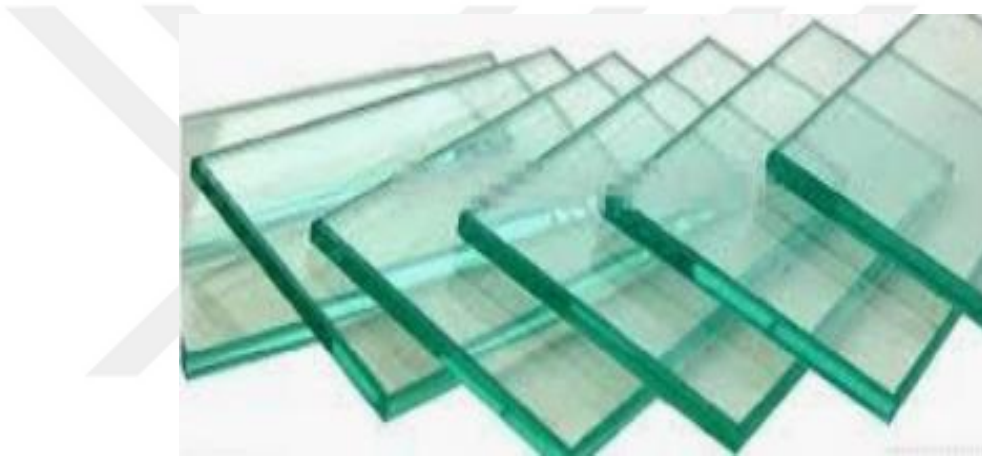
Şekil 3.9. Temperli Camın Kırılmış Hali

Temperlenmiş camlar, normal camlardan 5 kat fazla dayanıklıdır (Megep, 2008).

3.6.2.2 Lamine Camlar

Lamine cam çeşitleri, iki ya da daha çok camın arasına şeffaf ve opak malzemeler konularak ısı ve basınç uygulanarak lamine edilir. Bu türün kurşun geçirmeyen türü de yapılabilmektedir. Kırılma sırasında dağılma olmaz parçalar yerinde kalır (Megep, 2008).

Birden fazla plaka halindeki camın arasına polivinilbutral (PVB) adı verilen sert bir koruyucu madde konulur ve ısıl basınç uygulanır. Bu şekilde kalıcı birleştirme ile oluşturulur (Şekil 3.10) (<http://www.haber32.com.tr/turkiye/lamine-cam-nedir-nerelerde-kullanilir-h97552.html>).



Şekil 3.10. Lamine Cam (<http://www.haber32.com.tr/turkiye/lamine-cam-nedir-nerelerde-kullanilir-h97552.html>).

3.6.2.3 Isıya Dayanıklı Camlar

Bu camlar temperli cam türüdür. Fırınlarda kullanılan ön kapak camları, buzdolabı raf camları gibi ısıya dayanıklı camlardır (Megep, 2008).

3.6.2.4 Teknik Camlar

Laboratuvar gereçleri, cam bor, far gibi eşyalarda kullanılır. Bu camların hammaddeleri, kum boraks, kum, soda, baryum karbonat, boraks, sülfat, cam kırığı, asit borik, sodyum nitrat, karbonat vb. maddelerdir.

3.6.2.5 Sınai Kaplar

Fizik, kimya, biyoloji alanlarında kullanılan kaplardır. Kimyasal dirençleri ve ısıl şok dirençleri yüksektir (Megep, 2008). Şekil 3.11’ de sınai kaplar verilmektedir.



Şekil 3.11. Sınai Kaplar (Megep, 2008, s. 25).

4. CAM ÜRETİMİ

Camın üretimi dört aşamada meydana gelir. Bunlar;

- Ana bileşenlerin hazırlanması
- Ergitme
- Biçimlendirme
- Tavlamadır (Kantur, 2009).

4.1 Ana Bileşenlerin Hazırlanması

Camı oluşturacak maddeleri ilk önce gereksiz maddelerden temizlemek ve güzel bir şekilde öğütmek gerekmektedir. Öğütülen bu ana maddeler oluşturulacak cama göre sınırlı seviyede birleştirilir ve eritmek için fırına gönderilir (Kantur, 2009).

4.2 Ergitme

Cam üretimi için ikinci aşama ergitme aşamasıdır. Camın eritilmesinde ısıtılabilen fırınlar kullanılır. Günümüzde bu eritme işlemi en az 2 ton kapasiteli krozelerden en fazla 1000 ton kapasiteli havuz fırınlarında yapılmaktadır.

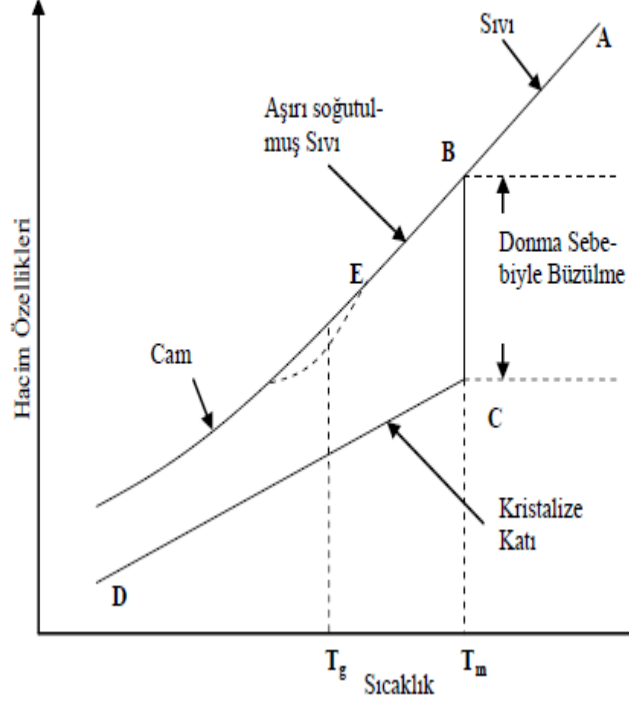
Fırın tipleri aşağıdaki gibidir;

- Havuz fırın
- Potalı fırın (Kantur, 2009).

4.2.1 Erimiş Camdaki Özellikler

Erimiş camdaki en önemli olan özellik viskozitedir. Erimiş camdan katı cama kadar viskozite değişiklik gösterir. Yani camın, değişik sıcaklıklara göre değişik

viskozitesi vardır. Birimi Poise olan viskozite erime derecesinde 10^2 poise, tavlama derecesinde 10^{14} poise ve cam soğuk halde ise 10^{20} poisedir.



Şekil 4.1. Camlaşma Özelliğindeki Maddenin Hacim-Sıcaklık Grafiği (Kantur, 2009, s. 17).

Kristal, sıvı ve cam arasındaki bağı anlayabilmek için Şekil 4.1’ de verilen hacim – sıcaklık diyagramına bakılır. Sıvı hal soğutulunca hacim sürekli ve düzenli şekilde azalır. E noktası yani T_e sıcaklığı dönüşüm aralığı olarak tanımlanır. T_g sıcaklığının altında cam özelliği vardır. T_g sıcaklığı cam geçiş sıcaklığıdır (Kantur, 2009).

4.3 Biçimlendirme

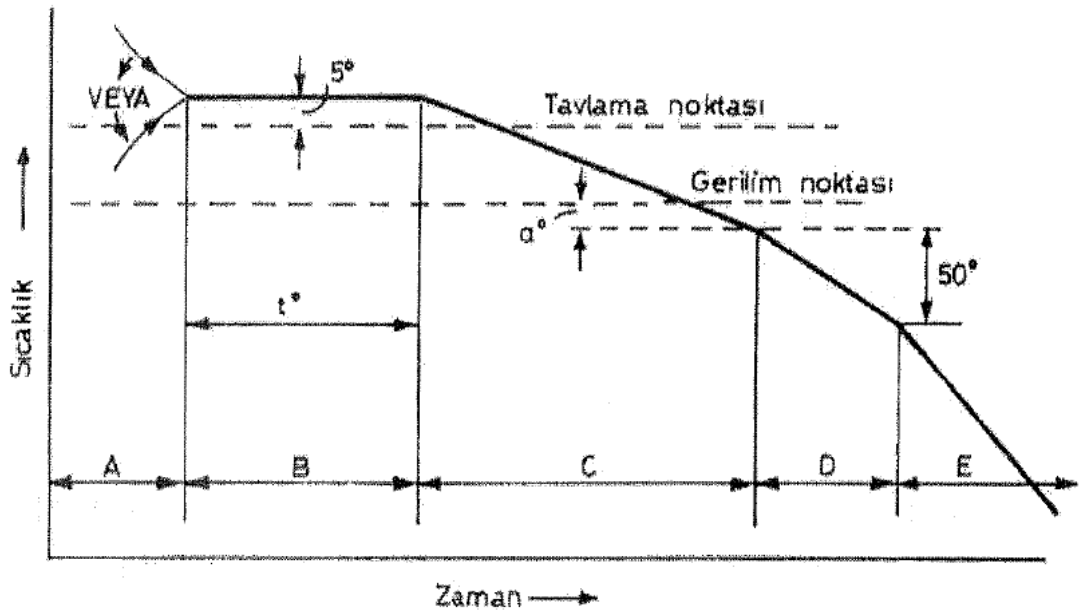
Hazırlama ve eritme aşamasından sonra dinlenmiş olan cam hamurunun biçimlendirilmesi yapılır. Cam birçok değişik yöntemle biçimlendirilmektedir. Bunlar;

- Üfleme (Şişirerek) yöntemi

- Dökme - silindirleme yöntemi
- Çekme yöntemi
- Fourcault yöntemi
- Libbey - owens yöntemi
- Pittsburg yöntemi
- Float (yüzdürme) yöntemi
- Presleme yöntemi
- Lif haline getirme yöntemi

4.4 Camın Tavlama

Cama uygulanan ısı işleme tavlama denir. Camı soğutma işleminde camın içerisindeki gerilmelerin yok edilmesi için tavlama gereklidir. Cam ilk soğumaya yüzeyden başlar ve yüzey soğuduğunda iç kısımlar hala sıcaktır. Bu yüzden camın dış kısmında basma gerilmesi, iç kısmında ise çekme gerilmesi meydana gelir. Bu gerilmeler istenmeyen bir durumdur ve azaltılması gereklidir. Çünkü üretilen malzemenin dayanımı gerilmelere bağlıdır. Bu gerilmeleri yok etmek için tavlama yapılır ve kademeli ısı işlem uygulanır (Megep, 2008).



Şekil 4.2. Camın Tavlama Planı (Kaner, 2008, s. 76).

Çok fazla sıcaklıklara maruz bırakılıp, sıcaklık gradyanlarının ve gerilmeleri yok olmasını beklemek ve sonra, tekrar gerilme durumundan kaçınmak için yavaş soğutma ve belli bir sıcaklığa ulaştıktan sonra oda sıcaklığına daha hızlı soğutma şeklinde yapılır.

Tavlama olması için gerekli sıcaklık değeri yaklaşık olarak 500 °C' dir.

Tavlama işlemi tünele benzeyen fırınların içerisinde gerçekleşir. Fırınların içerisinde tavlama yapılacak malzemeler yavaş bir hızla sıcak alanlara doğru yol alır (Groover, 2007).

Şekil 4.2' de tavlama planını göstermektedir. Bu plan camın bileşimine, şekline ve kullanım amacına göre farklılık göstermektedir. İlk başta camda oluşan gerilmelerin yok edilmesi için belli bir değere ısıtılır ve bu değerde belli bir süre tutulur (B bölgesi). Isıtıldıktan sonra cam soğutulur ve bu işlem sırasında viskozitesi yükselir (Persson, 1983).

4.5 Camın Temperlenmesi

Malzemenin tavlama sıcaklığı derecesinden fazla ısıtılması ve sonrasında hızlı bir şekilde soğutulmasına temperleme denir (Akçay vd., 2014).

Temperli cam normal camdan yaklaşık 4 kat daha dayanıklıdır. Bu sebeple temperli cam insan sağlığının güvenli olması istenilen yerlerde kullanılır. Uygulamalarda otomobillerde yan ve arka camlarda, mikrodalga fırınları, duş küvet muhafazaları vb. yerlerde tercih edilmektedir (<https://www.scientificamerican.com/article/how-is-tempered-glass-made/>).

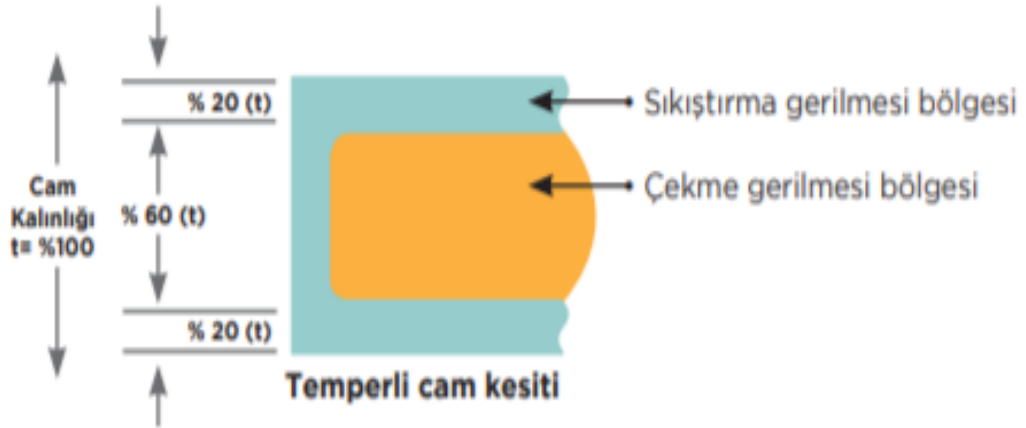
Temperli cam, endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Yüksek mukavemete ve parçalanma özelliğine sahip olması açısından yapılan çoğu tasarımlarda temperli cam seçilmeye özen gösterilmektedir. Plakada yüksek sıcaklık farkları oluşursa termal gerilim problemleriyle karşılaşılabilir (Duman vd., 2018).

Temperlemenin yapılmasındaki amaç, camın mekanik dayanımını artırmaktır. Bu işlemde, artık gerilmelerin malzeme üzerindeki dağılımı ve niteliği önem

taşımaktadır. Camdaki sıcaklığı camın yumuşama derecesine kadar getirip hızla soğutma işlemidir. Soğutma başladığında camın dış katmanları içine göre daha çabuk soğur ve iç ve dış yüzey arasında çok fazla sıcaklık farkı olur. Bu durumla birlikte merkezde çekme dış yüzeyde bası gerilmesi oluşturur (Türkbaş ve Ataer, 2007).

Camdaki gerilme durumuna bağlı olarak temperli cam kırıldığında küçük parçalar halinde parçalanır.

Cam, yüzeyindeki kusurlara bağlı olarak çekme gerilimine sahip kırılğan bir malzemedir. Temperli camda çok fazla sıkıştırma olduğundan camın içerisindeki çekme gerilmesi daha fazladır. Cam bir darbeden dolayı bu gerilmeleri taşıyamazsa parçalanmaya başlayacaktır. Bu parçalanma işlemi temperli cam için zararsız küçük parçalara bölünme şeklindedir. Bu nedenle temperli cam bazen emniyet camı olarak da adlandırılır (Şekil 4.3) (Nielsen, 2016).



Şekil 4.3. Temperli Cam Kesiti (<http://www.isicam.com.tr/tr/Documents/K-Serisi/Sisecam-Duzcam-Emniyet-Ve-Guvenlik-Kitapcigi-TR.Pdf>).

Camlar temperleme işleminden sonra kesme, taşlama gibi işlemlerden geçirilemez (<http://www.bmtrada.com.tr/SBG-Temperli-Cam-Brosur.pdf>).

Temperli camın kullanım yerleri:

- Cam kapılar
- Duş kabinleri
- Cam mobilyalar
- Otomobillerin yan ve arka camları

- Buzdolabı ve fırınlarda kullanılan camlar
- Güneş pili camları <http://www.isicam.com.tr/tr/Documents/K-Serisi/Sisecam-Duzcam-Emniyet-Ve-Guvenlik-Kitapcigi-TR.pdf>.

4.5.1 Camın Genel Dayanımı

Camda kusurların varlığı kaçınılmazdır. Yapısal olarak bakıldığında, kusurların en başında çatlaklar gelmektedir. Yani bir yük ve çatlağın birleşimi, stres yoğunluğu faktörünün kritik gerilim şiddeti faktörüne ulaşmasına neden olursa cam kırılır (Foraboschi, 2014).

Düz camın yüzeyi pürüzsüzdür yani mikro çatlaklar yoktur. Baskı altındaki ham olan düz camın üzerindeki sıkıştırma dayanımı 1000 MPa' dan fazladır. Bu tür camlar çok dayanıklıdır ve kırmak çok zordur. Ama cam çekme gerilimine dayanamayan maddedir. En az 25 MPa değerinde kırılmasının sebebi camın üzerinde var olan mikro çatlakların camın merkezine doğru yol alması ve kırılmaya sebep olmasıdır.

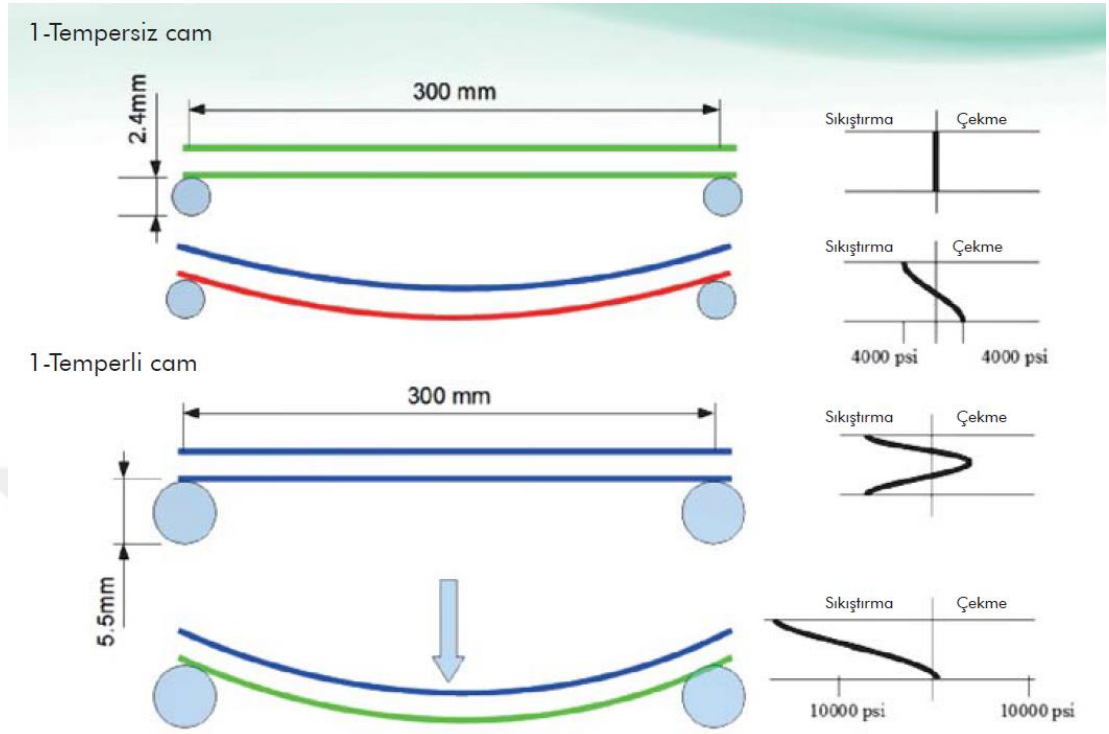
Camın temperlenmesiyle cam yüzeyleri ve kenar kısımları sıkıştırma gerilimine iç kısımları ise çekme gerilimine maruz kalır. Temperli cam tempersiz camdan çok daha dayanıklıdır.

4.5.2 Temperli Camın Mukavemeti

Camdaki dayanıklılık bükme testi yapılarak tespit edilir ve camın kırılmasında gerekli olan baskı kuvvetine bakılır.

Şekil 4.4' te 30 cm uzunluğundaki temperlenmemiş camın 2,4 cm derinliğe kadar bükülmesi için gerekli olan kuvvet 27 MPa' dır. 27 MPa, camın kırılması için yeterli kuvvettir. Bu durum temperli camlarda daha farklıdır. Temperli camlarda yüzeylerde sıkıştırma mukavemeti vardır ve aynı ölçülerde 5,5 mm derinliğe bükülürse sıkıştırma gerilimi sıfır olur ve bu durumda cam kırılmaz. Bu sebeple temperli cam tempersiz cama göre çok daha dayanıklıdır. Temperli camda ani

sıcaklık değişimlerine karşı direnci 200 °C' dir (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).



Şekil 4.4. Temperli Cam Bükme Testi (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

4.5.3 Temperlemede Ham Camın Kalitesindeki Önem

Cam düzgün bir şekilde tavlınmamışsa camda gerilim birikmiş olabilir ve bu yüzden kesim sırasında cam düzgün şekilde elmas izini takip ederek kopmaz. Düzgün tavlınmayan camlarda kenar işleme sırasında çapaklanma oluşur. Düzgün rodaj kenarı olmaz. Çapaklanma ve mikro çatlaklar sebebiyle temperleme esnasında cam kırılabilir.

Camda bazen istenmeyen yabancı maddelerde bulunabilir. Bu maddeler camın iç bölgesindeyse temperleme işleminden sonra cam kırılabilir.

Camın belli yerlerinde kalınlık farkları varsa fırının içerisinde camın her yeri eşit şekilde ısınmaz. Bu sebeple soğutma bölümünde distorsiyon ve sekürit testinde parçacık sayısında açıklıklara sebep olur.

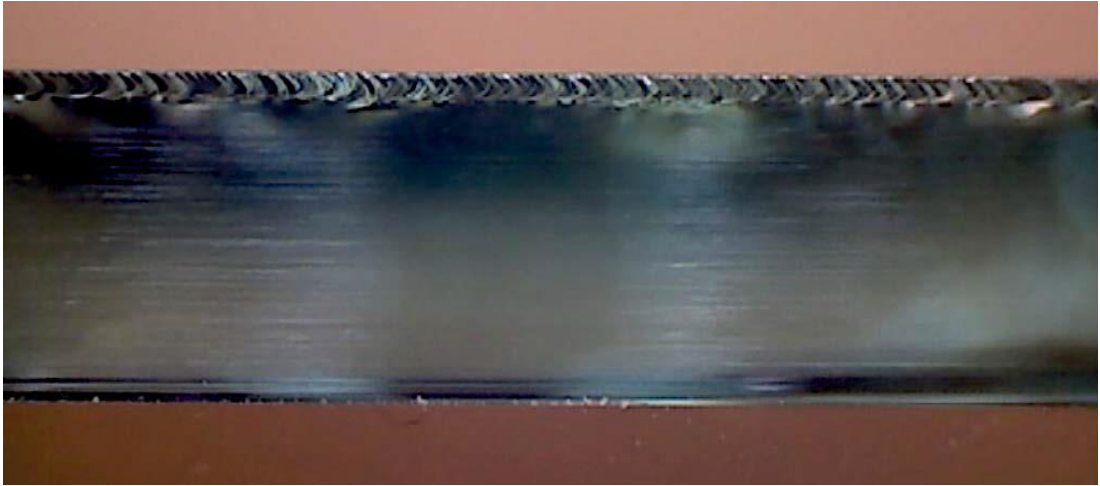
4.5.4 Low-E Kaplamalı Camlar

Düşük emisyonu sahip cam demektir. Low-E kaplamalı camlar, camdaki yüzeyin ısıyı yansıtabilme yeteneğidir. Low-E kaplama gözle görülemeyecek kadar incedir ve yüzeyinin metal ya da metal oksit ile kaplanmasıyla üretilir.

Low-E camlar kışın evin içindeki sıcaklığın camın yüzeyinden tekrar evin içerisine yansımını sağlar. Yaz mevsiminde ise güneşten gelen kızılötesi ışınların dışarıda kalmasını sağlayarak evi serin tutar (<http://www.sar-cam.com.tr/cam-cesitleri/low-e-cam>).

4.5.5 Cam Kesme

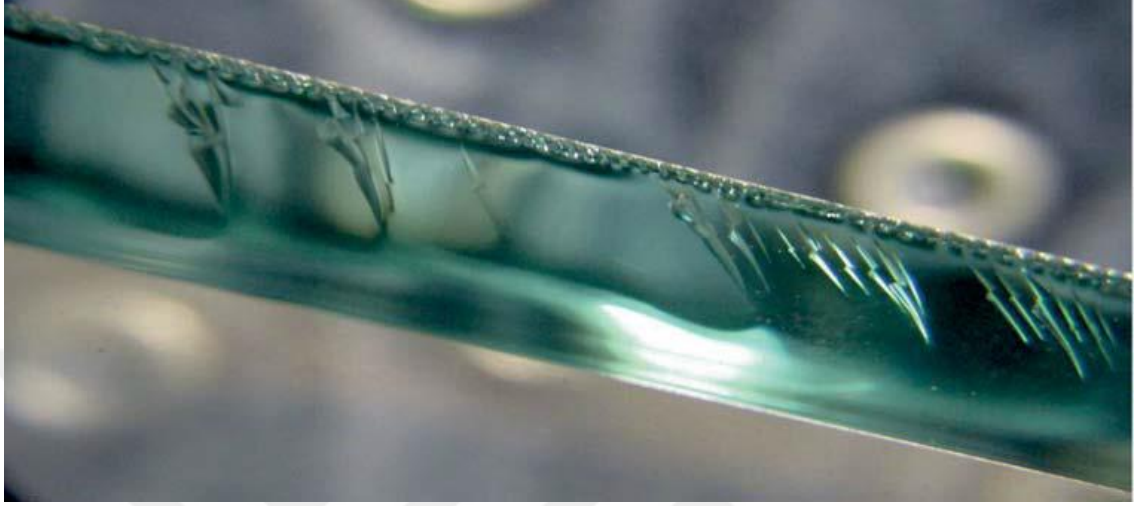
Camı kesmek için üzerinde elmas yardımıyla bir çizgi oluşturmak ve camı bükmek kırılması için yeterlidir. Elmas ucun oluşturduğu mikro çatlaklar camın iç bölgesine kadar ilerleyerek kırılmasını sağlar. Şekil 4.5' te camın düzgün kesilmiş hali gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Düzgün Cam Kesimi ve Kopması (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

Cam her zaman düzgün bir şekilde kopmaz. Elmasın basıncı fazla olursa ve camın kalınlığına göre elmas yanlış açıda kullanılırsa iyi bir kopma yapılması beklenemez (Şekil 4.6). Bu kesme sırasında oluşan çatlakların giderilmesi için kenar işleme işlemi uygulanır. Ama bu çatlakların hepsi kenar işleme sırasında yok

edilemeyebilir. Temperleme işleminden sonraki soğutma işleminde bu çatlaklar yüzünden kırılmalar meydana gelebilir (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).



Şekil 4.6. İyi Olmayan Bir Kopma (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

4.5.6 Camın Kenar İşlemesi

Kenar işleme, zımpara veya rodajlama şeklinde yapılır. Bu işlemin yapılma sebebi ise temperleme esnasında zarar verecek çatlak, çapak ve keskin köşelerin hepsinin temizlenmesini sağlamaktır. Şekil 4.7’de iyi bir rodajlama örneği gösterilmiştir. Şekil 4.8’ de ise kötü yapılmış bir zımparalama örneği gösterilmiştir.

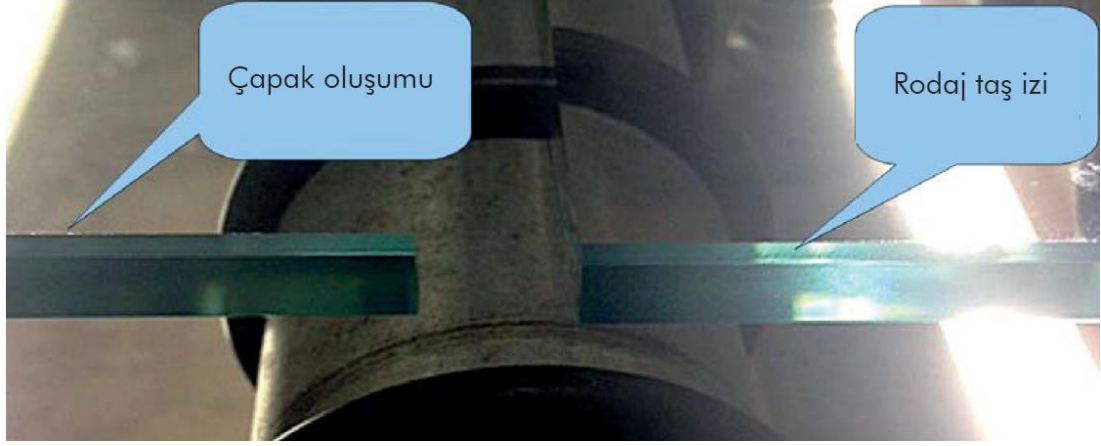


Şekil 4.7. İyi Yapılmış Bir Rodajlama Örneği (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).



Şekil 4.8. Kötü Yapılmış Zımpara Örneği (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

Şekil 4.9' da gösterilen örnekte 12 mm düz parlak rodajlı olan cam temperlemeden sonra soğutma esnasında kırılmıştır. Sağda görülen taşlama tekerleği işareti ve soldaki görüntü endikasyonları göstermektedir. Bunu engellemek için rodaj hızını ve taşın baskısını düşürmek gereklidir (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

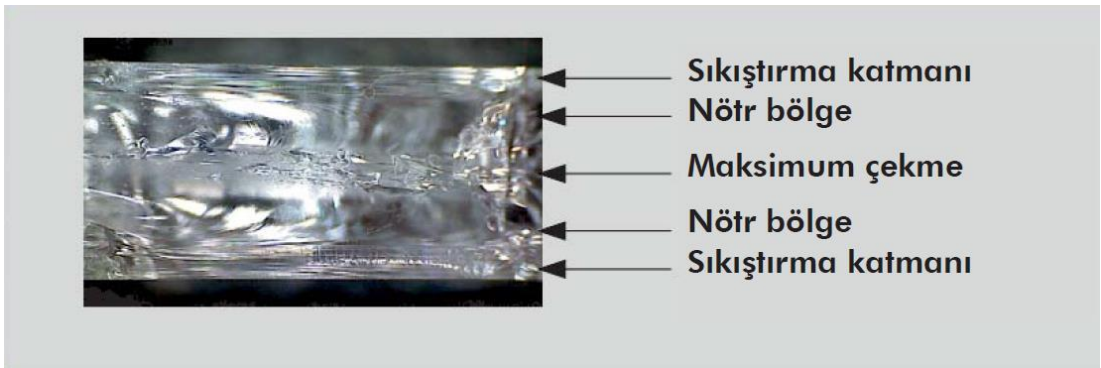


Şekil 4.9. Soğutma Sırasında Kırılan Cam (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

Zımparalama işlemini yaparken zımpara kayışı sürtünmeden dolayı ısınır ve bu ısınmayı ve bu sebepten oluşan mikro çatlakları engellemek için zımpara kayışı sürekli olarak ıslanmalıdır. Zımparaların aşınmış olmamasına dikkat edilmelidir (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

4.5.7 Cam Temperleme İşlemi

Cam geçiş sıcaklığı üzerinde bir sıcaklığa ısıtılır. Cam ısınırken düz muhafaza edilir ya da şekil verilebilir. Camın üst ve alt yüzeyleri eşit ve hızlı bir şekilde ortam sıcaklığına düşene kadar soğutulur. İyi bir temper işlemi bu aşamalardan geçmektedir. Şekil 4.10' da temperli camın yan kesit görünüşü gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Temperli Camın Yan Kesit Görünüşü (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).



Şekil 4.12. Camın Fırın İçinde Isınma Hızı (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

Fırın hızıyla ilgili bir örnek inceleyelim:

Herhangi kalınlıkta bir camı 700 °C'ye ısıtılmış bir fırında 625 °C'ye çıkarabilmek için sabit 2,22 olması gereklidir.

4 mm olan düz bir cam temperlenecek ise standart radyal fırın sabiti 17,6 olarak bilinir. Isınma süresi = $2.22 \times 4 \times 17,6 = 156$ sn olarak bulunur.

10 mm cam için ısıtma süresi ise; $2.22 \times 10 \times 17,6 = 390$ sn bulunur.

Düz cam için her 1 mm kalınlığı 40 sn ısıtmak gereklidir. Bu kural düz şeffaf camlar içindir. Cam şeffaf değil de renkli olursa eğer, 17,6 aldığımız sabit değer 16 olur böylece ısıtma süresi % 10 azaltılması gerekir. Eğer fırın ful konveksiyon fırın ise sabitimiz 12,5 olur.

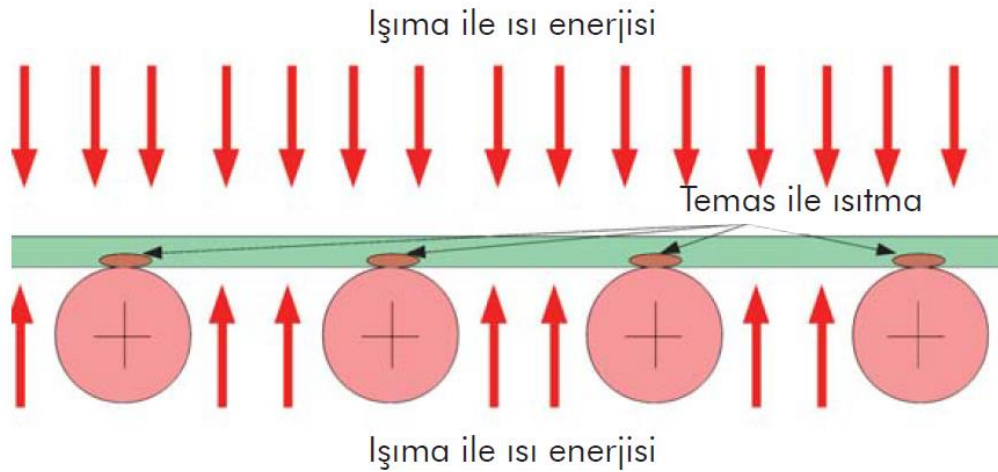
4 mm kalınlıktaki bir cam için ısıtma süresini hesaplırsak: $2,22 \times 4 \times 12,50 = 111$ sn olur yani 4 mm cam için 120 sn ısıtma süresi olur. Ve bu şekilde cam fırının içerisinde ne kadar uzun kalırsa ısı transferi yavaş olur bilgisine de ulaşabilmekteyiz.

Şekil 4.12' de camın fırının içerisindeki ısınma hızı eğrisi gösterilmiştir. Cam fırının içerisinde girdiğinde ilk başta cam ısı almaya başladığında ısı farkı azalır ve ısı transferi hızı da düşer.

Cam temperlendiğinde boyu uzamaktadır. Soğuma bölümünde ilk 2 sn' de her iki yüzeyde gerilmektedir ve başlangıç ölçüsünden daha uzundur. Örneğin 1000 mm uzunluğundaki camda büyüme 0,6 - 0,7 mm'dir. Önceden temperlenmiş camı tekrar temperlemek istersek zaten üzerinde gerilmemeler olduğundan fırına girdiğinde yüzey geçiş sıcaklığına ulaşır ve plastik deformasyon başlar. Bu durumda camın merkez bölgesinde çekme gerilmesi vardır ve camı sıkıştırır. Bu sebeple camın boyunda küçülme meydana gelir. Cam fırına 1000 mm olarak verilirse boyunda 1 mm küçülme olabilir (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

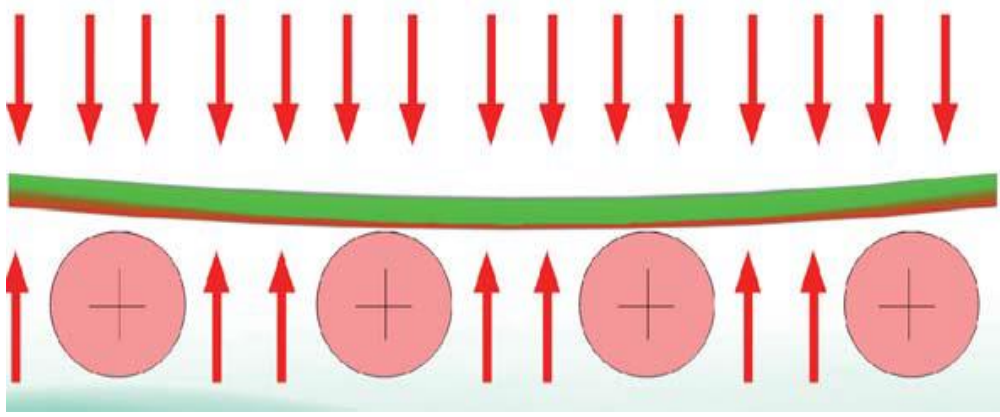
4.5.8 Isıtmada Yaşanan Problemler

Cam ısınırken ilk yüzeyler sonrasında ise camın merkez kısmı ısınır.



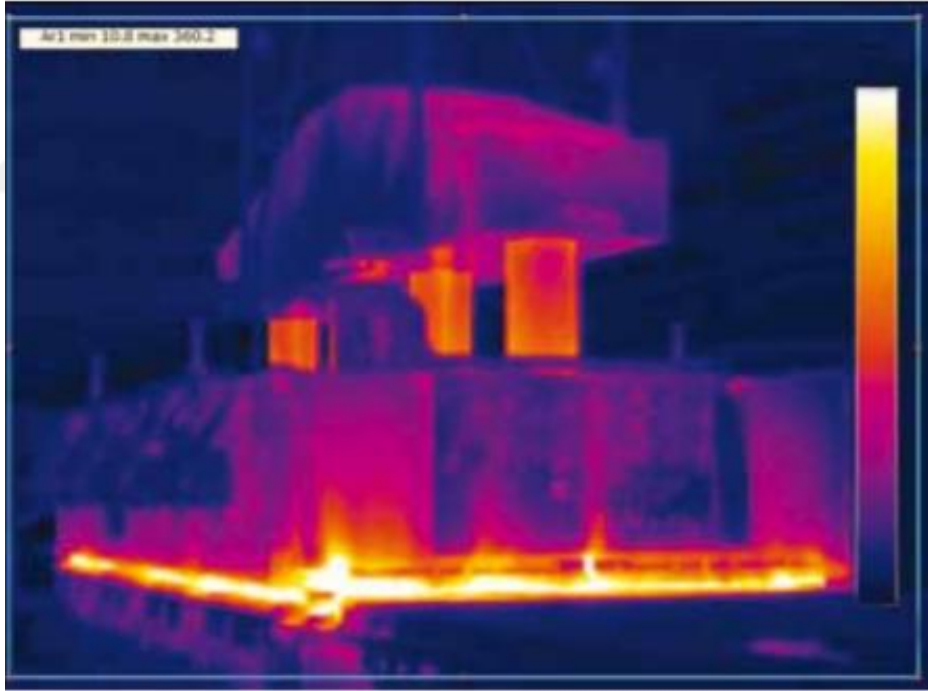
Şekil 4.13. Asimetrik Isıtma (<http://www.yorsancam.com/wpcontent/uploads/2015/01/temper.pdf>).

Şekil 4.13' te görüldüğü gibi camın altından merdaneler temas ettirilerek ısınır. Bu şekilde camın alt yüzeyi üst yüzeyine göre daha çabuk ısınır. Bu sebeple şekil 4.14' de olduğu gibi bombe yapar ve düzgünlüğünü kaybeder.



Şekil 4.14. Fırın İçinde Kamburlaşma (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

Bombe olmaması için üst yüzeydeki ısının artırılması gerekmektedir. Bunu yaparken de basınçlı hava aspiratörleri kullanılır (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

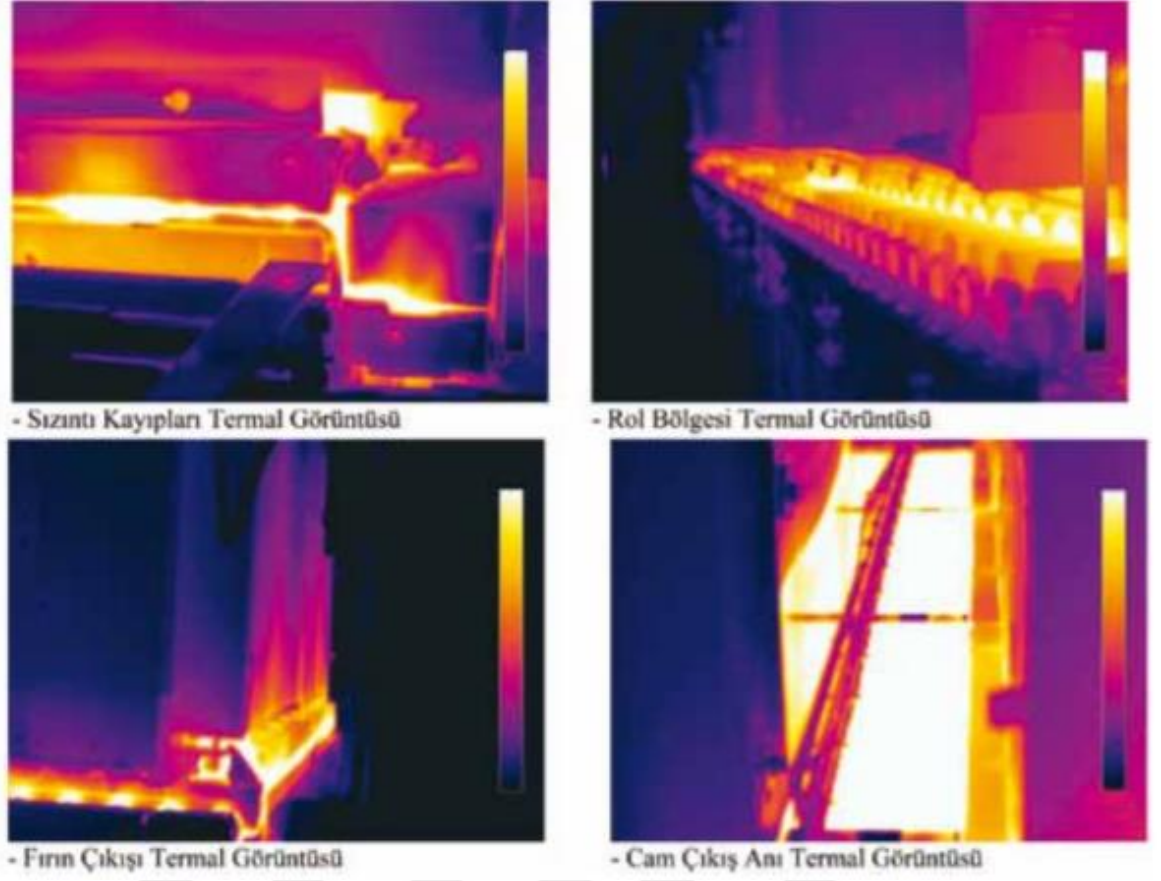


Şekil 4.15. Temperleme Fırınından Termal Kamerayla Alınan Görüntü (Tütünoğlu vd., 2012, s. 60)

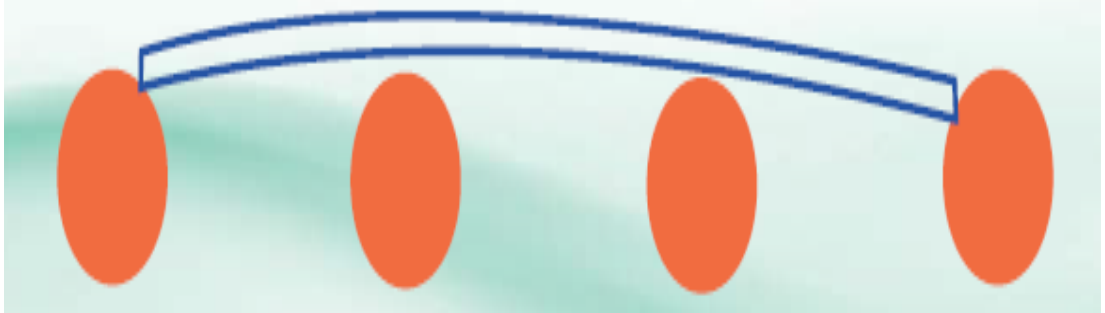
Temperleme işlemi sırasında camın kamburlaşmasına, operatör hatası ya da kalitesiz makine de etki etmektedir (<http://astascam.com/>).

Şekil 4.15'te temperleme esnasında fırından termal bir kamera yardımıyla alınan genel bir şekil gösterilmektedir. Şekil 4.16' da cam temperleme fırınında çeşitli kayıpların termal kamerayla tespiti yani, sızıntı kayıpları termal görüntüsü, rol bölgesi termal görüntüsü, fırın çıkışı termal görüntüsü, cam çıkış anı termal görüntüsü gösterilmiştir. Fırının yüzeyinde, ısı kaybolması ve farklı bölgelerindeki ısı kaçakları çok fazladır. Fırının yüzey bölgesinde bazı yerlerde 450 °C çıkan sıcaklıklar belirlenmiştir. Bu düşük sayılamayacak sıcaklığın olduğu yerler fırın içerisinden atmosfere sızıntının en fazla olduğu yerlerdir (Tütünoğlu vd., 2012).

10 mm üzerindeki kalın camlar fırına girdiğinde camın kütlesi yüzünden fırının sıcaklığını düşürmektedir. Cam fırına girdikten yaklaşık 1 dakika sonra ısı kontrol sisteminde bulunan ısıtma elemanları devreye girerek % 100 güçle fazla ve hızlı ısıtma moduna geçirir. Bu ısıtma modunda önce sıcaklık camın yüzeyine gelir üst yüzey ısınır, alt yüzeydeki ısı miktarını merdaneler gölgeler. Böylece üst yüzey alt yüzeyden daha sıcak olur ve genişleyerek ters bombe oluşturur.



Şekil 4.16. Cam Temperleme Fırınında Çeşitli Kayıpların Termal Kamerayla Tespiti (Tütünoğlu vd., 2012, s. 60).



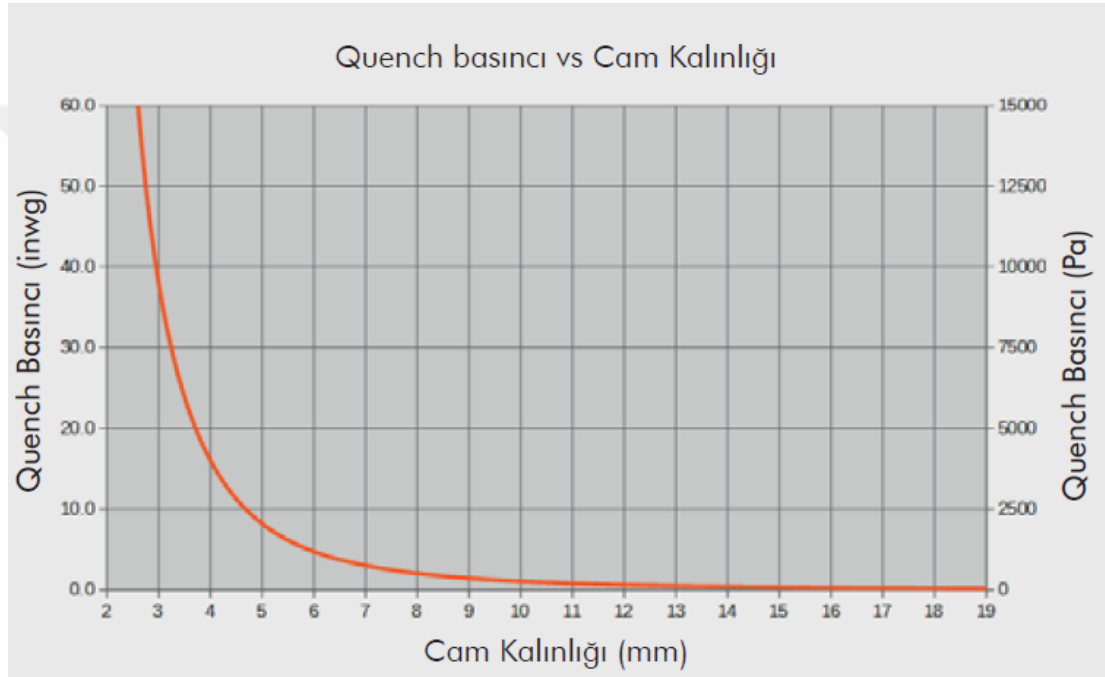
Şekil 4.17. Köşe Çapaklanma Nedeni (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

Camın bütün ağırlığı köşelere yığılır ve cam fırının içerisinde merdanelere çarparak hareket etmektedir. Çok tehlikeli bir durumdur, köşelerde çapak oluşturur (Şekil 4.17). Bu çapaklar camın iç bölgelerine kadar çatlak oluşturur ve camın fırından çıkmadan kırılmasına sebep olur.

4.5.9 Camı Soğutmada Yaşanan Problemler

Soğutma kısmında amaç camda kalıcı gerilme oluşturup camın dayanımını artırmaktır. Camın iç katmanını soğumaya başladığında gerilmelerin yönü değişip iç katmanda çeki dış katmanda bası gerilmesi oluşur (Türkbaş ve Ataer, 2007).

İnce camları temperlemek kalın camları temperlemekten çok daha zordur. İnce camlarda merkez hemen ısı kaybeder. Bu sebeple ince camları soğuturken çok hızlı hava üfleme gereklidir.

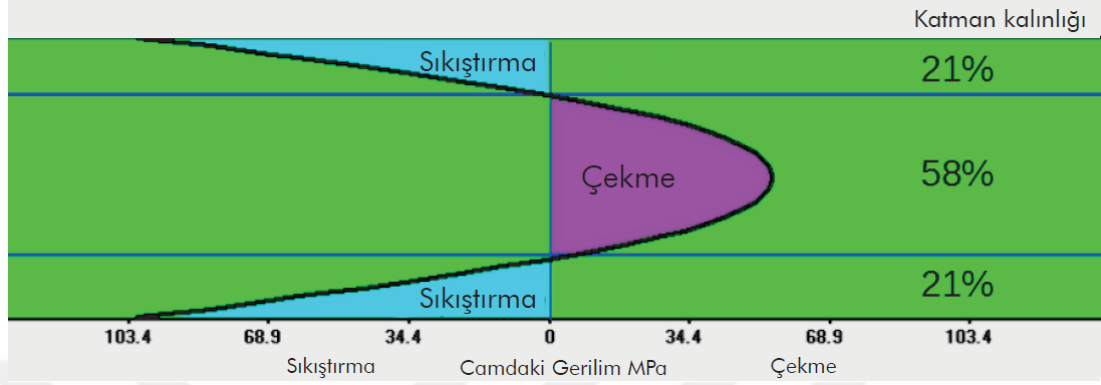


Şekil 4.18. Cam Kalınlığına Göre Soğutma Basıncı Eğrisi (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

Şekil 4.18' de camın kalınlığına göre gerekli üfleme basıncı gösterilir. 15 mm kalınlığı olan camda hava üfleme gerek yoktur. Çünkü cam oldukça kalındır. Bu yüzden cam normal ortam sıcaklığında bile merkeze göre daha hızlı soğur. İnce camların temperlenmesi sırasında üflenilen basıncın çok fazla olması gereklidir. Bu yüksek basınçlı havada üfleme bölgesinde camlar rulolar üzerinde dönebilir (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

4.5.10 Camda Gerilme Oluşturmak

Temperleme olayının asıl amacı cam yüzeyinin ve merkezinin aynı olmayan hızda soğutulması sonucunda gerilim farkı oluşturmaktır (Şekil 4.19).



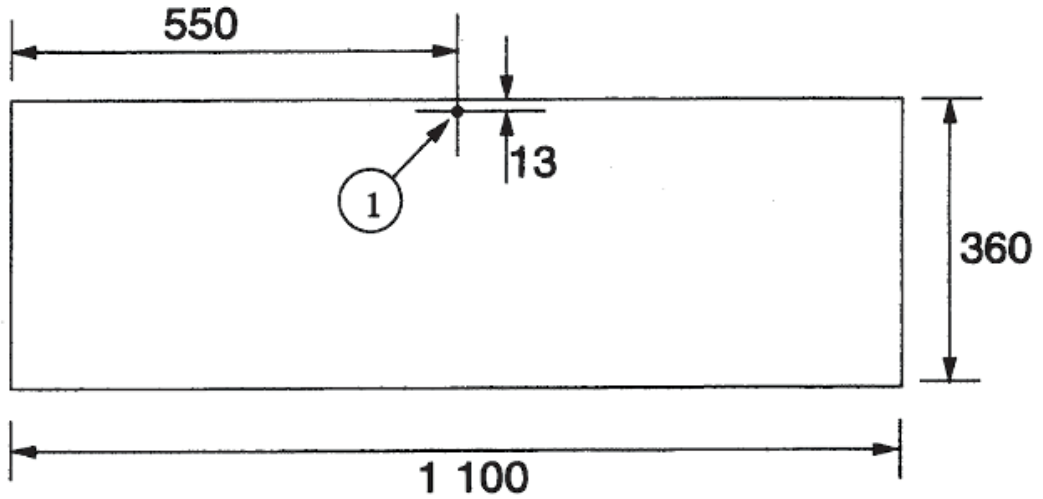
Şekil 4.19. Temperli Camda Gerilim Dağılımı (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

4.5.11 Temperli Camın Kırılması

Temperli camda yüzey kusurları var ise ya da iyi temperleme yapılamamışsa normal camın kırıldığı yöntemlerle kırılabilmektedir (<https://brennancorp.com/blog/what-are-tempered-glass-windows/>).

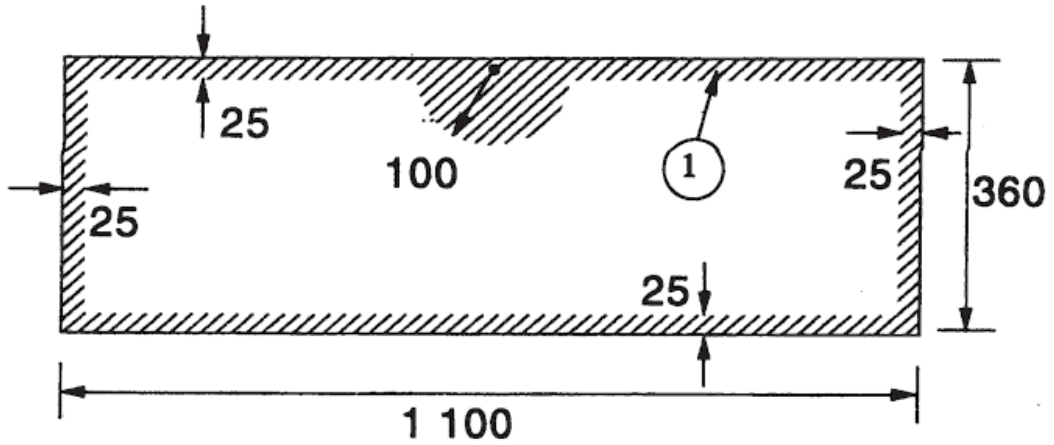
Temperlenmiş camın kırılma testi yapılmaktadır. Bu test Şekil 4.20' deki gibi yapılmaktadır.

Test edilmesi gereken cam aşağıda gösterilen noktadan vurularak kırılmalıdır.



Şekil 4.20. Kırma Testi İçin Belirlenen Vurma Noktası (uzun olan kenarın ortasından 13 mm içeri) (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

Kırılma gerçekleştikten sonra parça sayımı gerçekleştirilir ve Şekil 4.21’ de gösterilen taralı alanlar değerlendirmeye alınmazlar.



Şekil 4.21. Parça Sayımında Kullanılmayan Bölge (taralı alan) (<http://www.yorsancam.com/wpcontent/uploads/2015/01/temper.pdf>).

5 cm x 5 cm ölçülerinde olan bir şablon hazırlanmaktadır. Bu şablonda cam üzerinde olan çok kocaman parçaların belirlendiği alan üzerinde 25 cm² olan bir kare çizilir. Sonrasında çizilen bu kare içerisinde kalan tüm parçalar tek tek sayılır. Karenin çevresine dokunan parçacık varsa eğer bu parçacıklar ½ parça olarak sayılır. Toplam parça sayısını bulmak için Çizelge 4.1 kullanılır.

Çizelge 4.1. Cam Kalınlığına Göre Minimum Parça Sayısı Tablosu (<http://www.yorsancam.com/wpcontent/uploads/2015/01/temper.pdf>).

Cam Tipi	Anma Kalınlığı (d) mm	En Az Parça Sayısı
Float ve Çekme Düz Cam	3	15
	4 – 12	40
	15 – 19	30
Desenli	4 – 10	30

Şekil 4.22’de gösterildiği gibi temperlenmemiş bir cam kırılmıştır. Temperlenmemiş bu camda istenmeyen boyutlarda parçalar oluşarak kırıldığı görülmüştür. Bu parçalar insanlara zarar verebilecek keskinlikte köşelere sahip ve çok büyüklere (Akçay vd., 2016).



Şekil 4.22. Temperlenmemiş Camda Kırılma (Akçay vd., 2016, s. 1063).

Camın merkezinde bir çatlak oluşursa camdaki gerilim şok dalgası yayılır. Bu şok dalgasının hızı 3387 metre / saniyedir. Camın her tarafı aynı anda kırılmasından dolayı bu duruma camın patlaması adı da verilebilir (Şekil 4.23) (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).



Şekil 4.23. Temperli Cam (tipik kırılma) (<http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>).

4.5.12 Temperli Camın Sağladığı Faydalar

- Düz cama göre aldığı darbeler karşısında 4 - 5 kat daha fazla sağlamlığa sahip olan temperli cam, noktasal yükler karşısında dayanıklı değildir.
- Cam temperlendiğinde ısıl gerilmelere karşı direnci artar.
- Temperlenmiş cam kırıldığı anda büyük parçacıklara ayrılır ve yaralanma riskini azaltır. Bu sebeple emniyet camı olarak da adlandırılır.
- Temperli olan cam; float cam, buzlu cam, reflektif cam, emaye boyalı camlardan elde edilebilir (<http://www.isicam.com.tr/tr/Documents/K-Serisi/Sisecam-Duzcam-Emniyet-Ve-Guvenlik-Kitapcigi-TR.pdf>).

4.5.13 Temperli Camın Tarihi

Temperli cam ilk olarak 17. yy sonlarında Avrupa' da bulunmuştur. Patentini ilk olarak İngiltere almıştır. Isıtılmış yağ havuzunun içerisinde ısıl işlemler uygulanarak camı temperlemişlerdir. Daha sonra Almanya Siemens prosesi olarak bilinen başka bir yöntemle camı temperlemiştir. Bu yöntemde soğutmalı kalıplar yardımıyla camlar preslenmektedir ve preslenen camlara ön gerilim yüklenmektedir (<https://www.metalurjimalzeme.net/temperli-cam-nedir/>).

5. MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal ve yöntem başlığı altında yapılan çalışmada kullanılan aletler, makineler, ve yapılacak olan deney için izlenen yöntemler anlatılmıştır. Materyal bölümünde çalışmamızın gerçekleşmesini sağlayan makine ve deneyde kullanılan malzemelerden bahsedilecektir. Deney aşamalarının oluşturulacağı temper fırınına baktığımızda, prosesteki değişkenlerin fırın kısmında fırın hızı, her bir fırın bölmesi için sıcaklık, konveksiyon için kullanılacak hava oranı, rezistansların tetiklenme aralığı, soğutma odası kısmında quench fan motoru çalışma devri, soğutma fan motoru çalışma devri, alt ve üst quench hava oranı, alt ve üst quench mesafeleri olduğu görülmüştür.

5.1 Materyal

5.1.1 Deneylerde Kullanılan Camın Özellikleri

Yapılan deneylerde soda-kireç bileşimine sahip fırın ön kapak camı kullanılmıştır. Bu camlar en fazla 4 mm kalınlığındadır. Köşe kısımlarında ölçüleri 2 mm x 45° olan pah bulunmaktadır ve camların ölçüleri 460 mm x 590 mm'dir.

Kesme, rodajlama, baskı ve kurutma işlemleri temperleme işleminden önce yapılmalıdır. Cam temperlendikten sonra bu işlemler uygulanamamaktadır.

Camda kalite kontrol işlemleri de yapılmaktadır. Dalgalılık, kamburluk ve parçacık sayısı (sekürit değeri) ölçülerek kalite kontrol işlemi gerçekleştirilir. Temper fırınından sonra cam quench bölümünde hızlı bir şekilde soğutularak kullanıma hazır hale gelir. Quenchten çıkan camların kalitesine bakılmaktadır. Belli zaman aralıklarında temper hattından çıkan bazı camlar kalite kontrol işlemine tabi tutulur. Bu işlemlerde dalgalılık ve kamburluk en çok 1 mm ve parçacık sayısı için 80 – 240 (ölçüm yapılan 25 cm² içerisinde) tanecik kabul edilebilir. Yaptığımız deneylerde sekürit testinde oluşan parçacık sayısı incelenecektir.

5.1.2 Temperlemede Kullanılan Fırın Ve Özellikleri

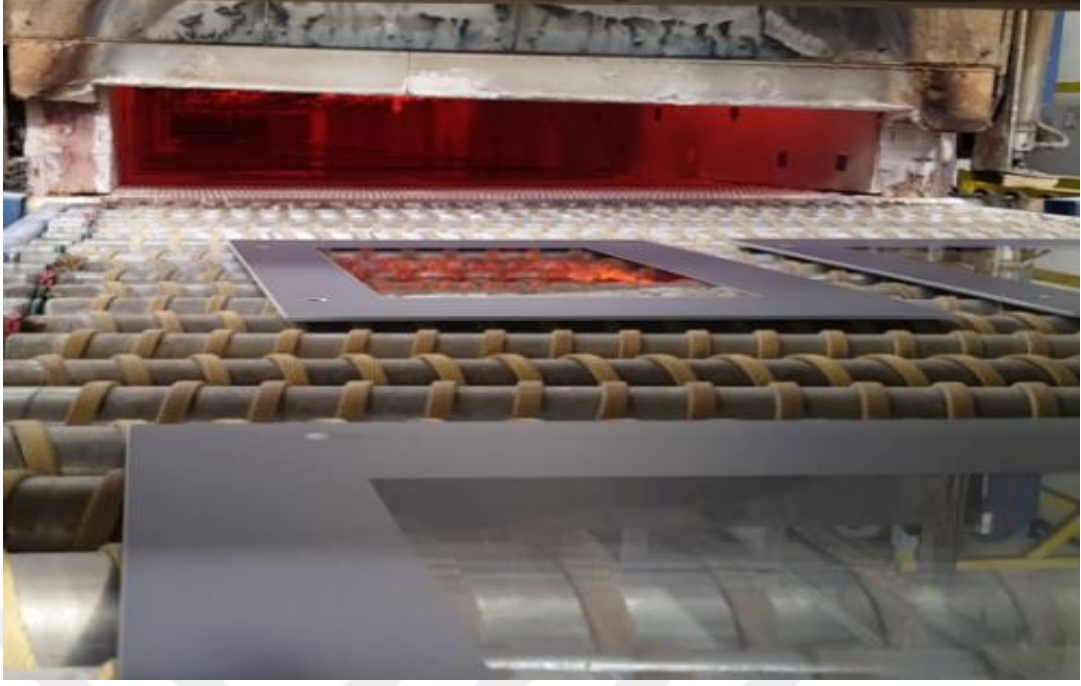
Materyal olarak temperleme fırını üzerinde çeşitli parametrelerle çalışmalar yapılacaktır. Yapılan deneylerde markası Tamglass olan fırın tipi kullanılmıştır. Fırın elektrik rezistanslı ve sürekli akış konveksiyonuna sahip yatay bir fırındır. Temperleme fırınının yanı sıra proses parametrelerinin de temperlemeye etkisi vardır. Camın temperlenmesinin nedeni, günlük hayatımızda kullanılan camların ısı ve darbelere karşı dayanıklı hale getirmektir.



Şekil 5.1. Sürekli Temper Fırını (<http://www.cmsmachine.com/urunler-trtr/cam-temperleme-firinlari-tr-tr/duz-cam-temperleme-frnlar-fgtf/>).

Temperleme işlemi, ısıtmanın gerçekleştiği fırından başlar ve soğutma odasının bitişine kadar devam eder. Temperleme fırınları üretimi bir hat üzerinde, seri ve sıralı bir şekilde gerçekleştirir. Hattın genişliği 1,2 m, uzunluğu 18 m' dir. Şekil 5.1' de sürekli bir temper fırını gösterilmektedir.

Aşağıdaki şekil 5.2' de temper fırınının giriş kısmı gösterilmektedir. Fırına girerken camda bulunan sıcaklık ilerleyen bölgelere göre daha düşüktür. Temperleme prosesinde ürünlerin hareketi, malzemeleri bir uçtan diğer uca kadar hareketini sağlayan konveyörlerin üzerinde ve robotik kollar tarafından sağlanmaktadır.



Şekil 5.2. Temper Fırınının Giriş Kısmı

Temperleme yapılırken, yaklaşık olarak 615 °C sıcaklıktaki bir fırın kullanılır. Bu fırının içerisinde ilerleme, konveyör yardımı ile yapılmaktadır. İlerleyen cam fırın içerisinde yaklaşık 658 °C sıcaklığa yükselerek fırından çıkması ve fırın çıkışında aniden çok yüksek hıza sahip olan hava ile soğutulması işlemine temperleme adı verilmektedir. Fırın içerisindeki ısıtma elektrik enerjisi yardımıyla rezistanslarla yapılmaktadır. Cam yüzeyine, fırın içerisinde bulunan sıcaklık dengeli bir şekilde aktarılmalıdır. Bu aktarımın dengeli olması camın kalitesini artıracaktır (Tütünoğlu vd., 2012).

Rezistanslar fırının içerisinde, fırının alt ve üst kısımlarına farklı şekilde yerleşmişlerdir. Rezistanslar fırının üst kısmında hava kanallarının içine, alt kısmında ise konveksiyon borularının altına yani fırın tabanına yerleştirilmiştir. Alt bölmedeki rezistanslar açık bobine benzemektedir. Rezistanslar fırın girişinde fazladır, çıkışına doğru rezistans sayısı ve yoğunluğu azalmaktadır.

Elektrikli rezistansların işlevini iyi yapabilmesi için fırınların içerisinde fabrikadaki basınçlı hava tesisatından sağlanan hava konveksiyon sistemi bulunmaktadır. Basınçlı hava tesisatında 90 Kw gücünde kompresör kullanılarak 7 bar basınçlı hava elde edilir. Rezistanslar, fırın içerisinde hem alt hem de üst

yataklarda ayrı bölümler şeklinde bağlanır ve hava tesisatta alt ve üst bölümlere dağılır. Fırının üst bölümünde kanallar vardır, ilk olarak hava bu kanallara gitmektedir. Sonrasında ise, nozullara hava hortumları aracılığıyla taşınır. Bunlar arasında oransal kontrol valfleri vardır. Bu valfler sayesinde fırın içerisinde bölgesel hava akış kontrolü yapılmaktadır. Hava akış kontrolü valflerde bulunan klapelerdeki açıklığın ayarlanabilmesi ile havanın geçtiği alanın genişlemesi ve daraltılması ile gerçekleştirilir. Fırının alt bölgesinde, 1,1 mm çapında delikler bulunur. Bu delikler yardımıyla hava, üç farklı boruya yönlendirilir ve hava geçerken fırının içerisine hava yayılır. Fırının içerisine verilen hava kadar dışarıya hava atılır. Bunun için fırında 6 tane hava çıkış bacası bulunmaktadır.

Fırının içerisinde sıcaklık değişimleri meydana gelmektedir ve bu değişimler fırının içerisine konulan termokupllar sayesinde belirlenmektedir. Sıcaklık ayarlanan miktarın altına düşebilir. Bu durumda termokupllardan sinyaller çıkarak plc modülünü uyarır ve rezistansları yeniden harekete geçirerek fırındaki sıcaklık değeri kontrol edilir.

Camlar, fırının içerisindeki bir AC motoruna bağlı uzun bir mil üzerindeki kayış kasnak mekanizmasının hareketini sağladığı merdaneler yardımıyla ilerlemektedir. Merdanelerin bağlı olduğu kasnaklara, elektrik motorunun dönme hareketini aktarmasıyla merdanelerde dönme hareketi oluşmaktadır. Fırından çıkan camlar ani soğutma bölümüne geçer. Bu bölümde camlar daha hızlı ilerler.

Temper prosesinde önemli olan bir konu da camların fırının içerisinde ilerlemesini sağlayan hareket mekanizmasıdır (Şekil 5.3).

Temperleme hattında iki kısımdan oluşan soğutma odası bölümü bulunmaktadır. Bu iki merteye, camların fırından çıkıp aniden soğutulduğu quench bölümü ve sonrasında oda sıcaklığına getirildiği cooling kısımlarından meydana gelir. Bunlar, soğutma odasına hava kanallarıyla bağlı ve devir kontrollü olan iki farklı fanla yapılır. Fanların güçleri, quench bölümü için 315 kW, cooling bölümü için ise 135 kW' dir. Fanların çalışma devirlerinin değiştirilmesi sayesinde hava panolarından soğutmada gerekli hava basıncı kontrol altında tutulmaktadır. Motor devri fazlalaşırsa hava basıncıda fazlalaşmaktadır, aralarında doğru orantı vardır.

Ayrıca quench ve cooling bölümlerinin fan motorlarının maksimum çalışma devri 1500 rpm' dir.

Fırından çıkan camlar quench ve cooling bölümlerine geçmektedir. Bu iki bölümde camların ilerleme hızı fırına giriş hızının 4 katıdır. Camlar fırının içerisinde belli bir noktaya kadar sabit bir hızda ilerler, sonrasında quench bölümündeki hıza yetişmek için hızlanır. Bu hareket, sabit çaplı merdanelerle çalışan kasnakların açısız hızları farklılaştırılarak yapılır. Kasnağın çapı azalırsa, merdanelerdeki hız artacaktır yani aralarında ters orantı vardır. Fırının içinde hızın aynı şekilde devam ettiği bölgelerde kasnak çapları aynıdır, hızda bir artma gözleniyorsa kasnak çaplarında düşüş vardır.



Şekil 5.3. Fırındaki Hareket Mekanizması

Temper hattında, fırından çıkan camların aniden soğutulduğu bölüme quench bölümü denmektedir. Fırından çıkan camlar hızlı bir şekilde quench bölümüne getirilir. Hızlı gelmesinin sebebi ısı kaybını önlemektir. Soğutma odasında da merdaneler vardır. Bu merdanelerin hızları, camların fırının içinden çıkma hızıyla aynıdır. Camların fırından çıkma hızı, fırına giriş hızının yaklaşık olarak 4 katıdır. Bir enkoder yardımıyla fırının çıkış hızındaki merdane hızlarını referans alan bir AC motor tarafından soğutma odasının merdane hızları belirlenir.

Quench bölümde soğutma fanlar sayesinde olmaktadır. Fan sayesinde dışardan alınan havanın alt ve üst hava panolarında bulunan nozullardan camlara üflenmesi ile olur. Hava bir kanaldan quench kısmına geldiğinde, alt ve üst quench

nozullarına dağıtılır. Alt ve üst nozullara dağıtılan havanın geçtiği borular ve hava kanalı arasında klapeler bulunur. Klapeleler, alt ve üst nozullara gönderilen hava debilerinin oranının ayarlanmasını sağlar ve bir DC motor ile kontrol edilmektedir

Quench bölümünden sonra cam oda sıcaklığına getirildiği bölüme cooling bölümü denilmektedir. Cooling bölümünü quench bölümünden ayıran özellik, quench bölümünde hava bir kanaldan gelip alt ve üst nozullara paylaştırılmaktaydı ve alt hava panosu sabit olup üst hava panosunun cam hava panolarına eşit olarak paylaştırılıp sabit bir mesafeden üflenmektedir.

5.2 Yöntem

5.2.1 Deneylelerin Yapılışı

Deneyleler Bolu Yorim Cam Merkezi işletmesindeki temper fırınında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada düz cam üretiminde temper parametrelerinin ufalanmaya etkisi incelenmiştir. Farklı fırın hızı, farklı quench fanı devri ve farklı quench mesafesi kullanılarak deneyleler gerçekleştirilmiştir. Bu değerler kullanılarak sekürit testi yapılp cam kırıldığında oluşan parçacık sayısı belirlenmiştir. Deneyleler 27 farklı fırın hızı, farklı quench fan devri ve farklı quench mesafesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde kullanılan bütün parametreler Çizelge 5.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Temperleme İşlemi Proses Parametreleri

Temper İşlemi Proses Parametreleri	
Fırın Parametreleri	Quench ve Cooling Parametreleri
Fırın Hızı (mm/sn)	Quench Fan Frekans (Hz)
Fırın Sıcaklığı (°C)	Quench Mesafesi (mm)
Alt Hava Oranı (%)	Alt/Üst Quench Hava Ayarı (mm)
Üst Hava Oranı (%)	Cooling Fan Frekans (Hz)

Fırının girişinden çıkışına kadar olan bölümde camların, seramik merdaneler yardımıyla hareket etmesini sağlayan parametre fırın hızıdır. AC elektrik motoruna bağlı olan mil ile kayış kaynak mekanizması merdane hareketini sağlayarak fırını ilerletir. Fırının giriş kısmındaki hareketi sağlayan, AC motorun çalışma devridir. Fırının girişinde hız sabittir. Ancak AC motoruna bağlı olan mil ile hareket eden kasnak çaplarının küçülmesiyle fırın hızı artmaktadır.

Fırın içerisindeki sıcaklık her bir bölmede farklı derecede ayarlanabilen bir parametredir. Bu bölmelerde sıcaklıklar azaldığında rezistanslar devreye girmektedir. Bu sıcaklıklar termokupllarla kontrol edilmektedir. Fırın sıcaklığı, temperleme işleminde oluşan gerilim profilini etkilemektedir.

Kullandığımız fırın konveksiyonlu fırındır. Bu nedenle alt ve üst hava miktarlarının değişmesi sağlanır. Fırının ilk 8 bölümünde hava konveksiyonu bulunmaktadır. Alt ve üst konveksiyonlu fırınlar kesimi ve işlemesi yapılmış olan camların ısı ve darbeye karşı dayanıklı olmasını sağlar. Hava fırının alt ve üst bölümlerine kompresör vasıtasıyla dağıtılır. Fırının üst bölümünde valflerle, alt bölümünde üfleme delikleri olan borularla hava sisteme gönderilir.

Cam temper fırınından sonra ani soğutma bölümüne girer. Soğutma işlemi iki bölümden oluşmaktadır, quench ve cooling. Quench bölümünde fırından çıkan sıcak cam ani soğumaya maruz kalırken, cooling bölümünde cam oda sıcaklığına getirilir. Bu soğutmalar farklı odada tutulan iki farklı fan yardımıyla yapılmaktadır. Alt hava panosu quenchte sabittir. Cooling bölümünde hava alt ve üst panolara, eşit olarak iletilir. Quench bölümündeki üst bölmenin cama olan mesafesi değiştirilebilir. Quench mesafesi deneyimizi etkileyen bir parametredir.

Cama üflenlen havanın çıkış basıncı ölçülemez. Bu yüzden basınç, quench için hava üreten fanın AC motorunun devrine göre hesaplanır. Motordaki çalışma devrindeki değişim, motor sürücüsünün frekansının değiştirilmesi ile sağlanmaktadır.

Quench bölümünde bütün havanın belirli oranda dağıtılmasını sağlayan parametre alt / üst hava oranıdır. Hava alt ve üst nozullara klapeler yardımıyla dağıtılır. DC motorun tur sayısı klapeyi hareket ettirmektedir. Alt / üst hava oranı bu tur sayısına göre belirlenmektedir.

Cooling bölümünde tek değişken fan motoru devridir ve bu bölümde basıncı etkileyen parametredir.

5.2.2 Deney

Deneyimiz, temperli cam üretim merkezinde gerçekleştirilmiştir. Temperleme esnasında değişen parametrelerin camdaki parçacık sayısına (ufalanmaya) olan etkisi incelenecektir.

Parçacık sayısı, temperli cam kırıldıktan sonra camın üzerinde alanı 25 cm² olan bir kare çizilir. Ve bu karenin içerisinde kalan bütün parçacıklar tek tek sayılır. Karenin çizgisine değen parçalar ½ parça olarak sayılır. Çıkan sonuç 80 – 240 arasında olursa kalite kontrol aşamasından geçebilir. Eğer sonuç bu değer aralığından daha az ya da daha fazla çıkarsa cam kalite kontrol aşamasından geçemez. Bu kontrol belli zaman aralıklarında yapılır.

Parçacık sayısının 80 – 240 arasında çıkması için uygun parametreler kullanılmalıdır. Bu çalışmada değişen parametre değerlerinin parçacık sayısı üzerindeki etkisi incelenecektir. Deneyimizdeki parametreler şunlardır; ısıtma için fırın sıcaklığı, soğutma için Quench fan frekansı ve Quench mesafesidir. Bunlar haricindeki parametreler, fırın sıcaklığı, fırın alt hava oranı ve fırın üst hava oranı sabit tutulacaktır. Fırın sıcaklığı, her bir fırın bölmesi için farklı ayarlanır. 12 tane fırın bölmesi için 12 farklı sıcaklık değeri girişi yapılmaktadır. Hava konveksiyonu ise fırının ilk 8 bölümünde bulunur. Bu sebeple alt ve üst hava oranı 8 tane fırın bölmesi için yapılır.

Çizelge 5.2. Deney Boyunca Sabit Tutulan Isıtma Parametreleri

Sabit Tutulan Isıtma Parametreleri												
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12
Fırın Sıcaklığı	635	635	640	645	655	660	665	665	660	650	645	640
Üst Hava Oranı	20	20	20	20	20	20	20	20	-	-	-	-
Alt Hava Oranı	50	50	50	50	50	50	50	50	-	-	-	-

Çizelge 5.2' de deney boyunca sabit tutulan ısıtma parametreler verilmiştir.

Çizelge 5.3. Deney Boyunca Sabit Tutulan Soğutma Parametreleri

Sabit Tutulan Soğutma Parametreleri	
Quench Alt / Üst Hava Oranı	20
Cooling Fanı Devri	14

Çizelge 5.3' de ise deney boyunca sabit tutulan soğutma parametreleri verilmiştir. Bu soğutma parametreleri Quench alt ve üst hava oranı ve cooling fanı motor devrinden oluşmaktadır.

Deneyde bütün parametre değerlerinden 3 tane alınmıştır ve diğer parametreler sabittir. Bu 3 parametrenin birbirinden farklı 3 değeri için deneyde gerekli olan numune sayısı 27' dir.

Çizelge 5.4. Deney Boyunca Değişken Olan Parametre Değerleri

Fırın Hızı (mm/sn)	Quench Fanı Frekansı (Hz)	Quench Mesafesi (mm)
100	32	5
105	37	6
110	42	7

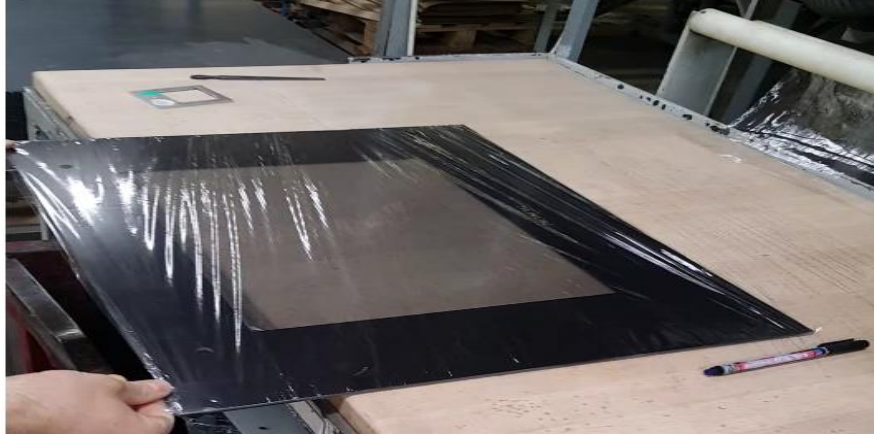
Çizelge 5.4' te deney boyunca değişken olan parametre değerleri gösterilmiştir.

5.2.3 Parçacık Sayısı

Temperli camın parçacık sayısını ölçmek için Şekil 5.4 ve Şekil 5.5' deki gibi sarılması gereklidir. Sarılmazsa eğer kırıldığı zaman parçacıklar etrafa yayılabilir ve doğru bir ölçüm yapılamaz. Sekürit testi için hazır olan cam küçük bir çekiç darbesiyle kırılır. Şekil 5.6' da camı kırmak için kullanılan çekiç gösterilmiştir.



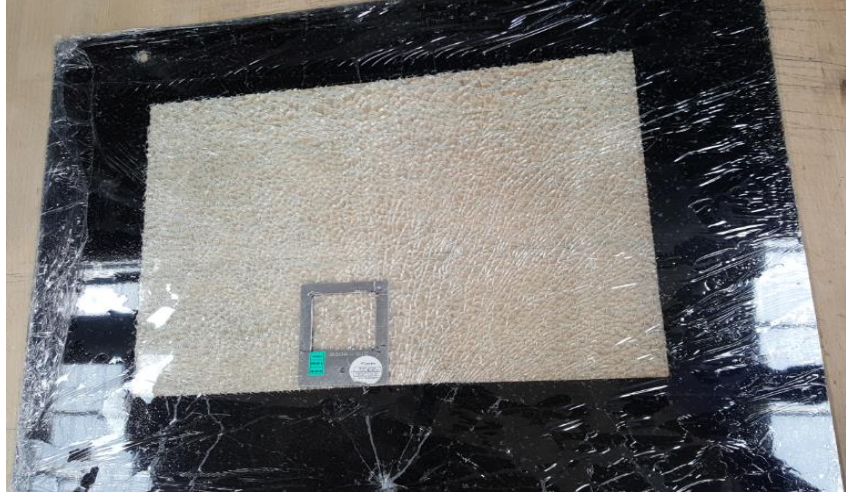
Şekil 5.4. Temperlenmiş Camın Kontrol İçin Hazırlanması



Şekil 5.5. Camın Kırılmak İçin Hazır Hali



Şekil 5.6. Temperli Cam ve Çekiç



Şekil 5.7. Temperli Camın Kırılmış Hali ve Ölçüm Şablonu

Şekil 5.7’ de temperli camın sekürit testinde kırılmış hali gösterilmektedir. 5 cm x 5 cm ölçüleri olan bir şablon hazırlanır. Kırılan camın üzerinde en büyük parçaları olan yer tespit edilir ve şablon yardımıyla 25 cm² lik bir kare çizilir ve karenin içerisinde kalan tüm parçacıklar tek tek sayılır. Karenin kenarına değen parçalar ise ½ olarak sayılır. Bu sayılan parçacıklar 80 – 240 arasında ise sonuç iyidir. Daha az ya da daha fazla ise sonuç kötüdür. Camın kullanılabilir olması için bu değerler arasında olması gereklidir.

5.2.4 Sayısal Olarak Sonuçlar

Bütün yapılan deneyler sonucunda Çizelge 5.5’ deki sayısal veriler elde edilmiştir. Bu tabloda camın hangi parametreler kullanılarak temperlendiğini ve sekürit testinde oluşan parçacık sayısı tabloda görülmektedir.

Çizelge 5.5. Deney Sonucunda Elde Edilen Sayısal Sonuçlar

Deney Sonuçları				
Numune	Fırın Hızı (mm/sn)	Quench Fan Devri (Hz)	Quench Mesafesi (mm)	Parçacık Sayısı
1	100	32	5	180
2	100	32	6	183
3	100	32	7	185
4	100	37	5	210
5	100	37	6	213
6	100	37	7	216
7	100	42	5	230
8	100	42	6	233
9	100	42	7	237
10	105	32	5	130
11	105	32	6	132
12	105	32	7	135
13	105	37	5	160
14	105	37	6	162
15	105	37	7	165
16	105	42	5	185
17	105	42	6	187
18	105	42	7	190
19	110	32	5	83
20	110	32	6	86
21	110	32	7	88
22	110	37	5	114
23	110	37	6	116
24	110	37	7	119
25	110	42	5	140
26	110	42	6	143
27	110	42	7	146

5.2.5 Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)

Bulanık mantık ilk defa Lotfi Zadeh diğer adıyla Lütü Askerzade tarafından ortaya çıkarılmıştır. Zadeh, 1965 yılında bir makale yayınlamıştır. İnsanların hayat tecrübelerinden, bilgilerinden faydalanarak belli kurallar oluşturarak makineye

aktarma düşüncesiyle yola çıkmıştır (<https://www.mediatick.com.tr/blog/bulanik-mantik-fuzzy-logic-nedir>).

Bulanık mantık, insanların düşündüğü şekilde düşünmeyi hedeflemiş ve bunları matematiksel fonksiyonlara dönüştürerek işlem yapan bir çalışmadır. Bunun en önemli özelliği Klasik (Aristo) mantığının yerine, Bulanık Küme teorisine dayalı matematiksel kurallar olmasıdır. Buna örnek olarak da, Matlab programı verilmektedir. Klasik mantıkta var - yok, 0 - 1, evet - hayır, iyi - kötü gibi kavramlar kullanılırken, bulanık mantıkta sadece ikili değerler kullanılmaz. Aralardaki değerlerde kullanılmaktadır. Az, fazla, orta, çok, normal, uzun, 0 - 1 yerine ara değerler olan 0,6 - 0,1 gibi değerler kullanılmaktadır (Maviş, 2018).

Bulanık mantık sayesinde makineler daha zeki hale gelmişlerdir. Örneğin; fotoğraf makinesi, televizyon, mikro dalga fırınlar, çamaşır makineleri, asansörler.

Bulanık mantığın avantajları;

- Günlük yaşantımızdaki gibi belirsiz, bazen değişikliğe uğrayabilen, karmaşık olan sistemlerin kontrolünde basit çözümler sağlar.
- İnsan düşüncesine yakın bir işleyiş tarzı vardır.
- Matematiksel modele gerek duymaz, doğrusal olmayan sistemlerde güzel sonuçlar vermektedir.
- Uygulanmasının kolay olmasından dolayı uygulamaların çok hızlı bir biçimde sonuca ulaştırır.

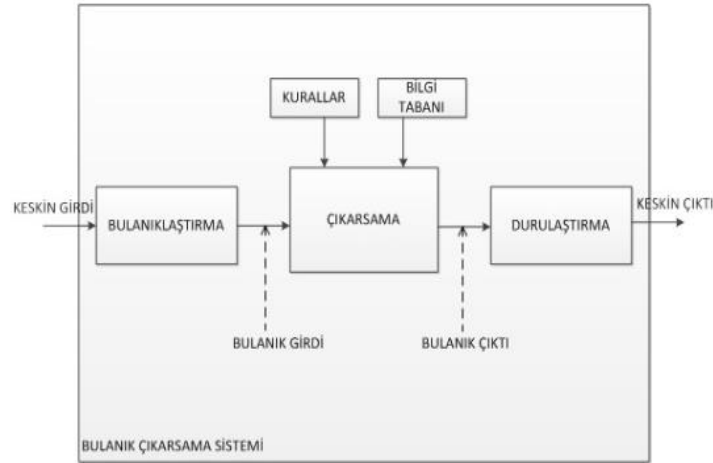
Bulanık mantığın dezavantajları;

- Kuralların uygun şekilde oluşturulmasında uzman deneyimine gerek vardır.
- Deneme yanılma en uygun yöntemdir. Bu yüzden uzun zaman gerekebilir.

Bulanık mantığın kullanım alanları;

- İlk kez 1973 yılında, kullanılmıştır. Londra'daki Queen Mary College' da profesör Ebrahim Mamdani bir çeşit buhar makinesinde bulanık mantığı uyguladı.
- 1980 yılında ise, Danimarka'da bulunan bir çimento fabrikasının kontrolünde ticari amaçlı kullanıldı.
- 1987 yılında Tokyo'da düzenlenen Uluslararası Bulanık Sistemler Derneğinde yapılan konferansta bir mühendis tarafından sergilendi. Mühendisin bulanık mantıkla programlamasını yaptığı bir robota, ince bir çubuğun üzerine bir çiçeği düşürmeden bırakmasını sağlatmıştır.

Hidroelektrik güç ünitelerinde ihtiyaç olan baraj kapılarının otomatik kontrol edilmesinde, depremlerin önceden tahmin edilebilmesi için yapılan sistemlerde, video kameraların hareketi algılamasında, helikopterlerin uçuş desteğinin sağlanmasında, el yazısı ve ses tanımlamak için bulanık mantık kullanılmaktadır (Maviş, 2018).



Şekil 5.8. Bulanık Çıkarılma Sisteminin Genel Görünümü (<http://portal.netcad.com.tr/pages/viewpage.action?pageId=104794233>).

Bulanık sistemlerde girdilerin hepsini çıktılarının hepsiyle bağlayarak küme ve kuralların tanımı yapılır. Bu sebeple bulanık mantık sistemlerin çalışması matematiksel bir sebep - sonuç fonksiyonunun çalışmasına benzemektedir. Bulanık mantık sistemi 4 temel aşamada gerçekleşir (Şekil 5.8):

- Bulanıklaştırma
- Çıkarsama
- Birleştirme
- Durulaştırma (<http://portal.netcad.com.tr/pages/viewpage.action?pageId=104794233>).

Bulanık mantığın temel kuralı EĞER – İSE ‘den oluşmaktadır.

1. Bulanık Kural Tabanı

Bulanık çıkarımda ihtiyaç olan dilsel EĞER – İSE kural tabanından meydana gelir.

2. Bulanık Çıkarım Motoru

Bulanık çıkarımlarda kurallar için bulanık mantık oluşturulur ve bulanık kural tabanı kullanılıp giriş ve çıkış uzayı arasındaki bağlantıyı sağlar.

3. Bulandırıcı

Bulandırıcı giriş değişkenlerinin ölçüldüğü bölümdür. Giriş değişkenleri arasında bir ölçek değişikliği sağlayarak bulanık kümelere çevirir. Yani değişkenlere etiket vererek dilsel olarak nitelik kazanmasını sağlar.

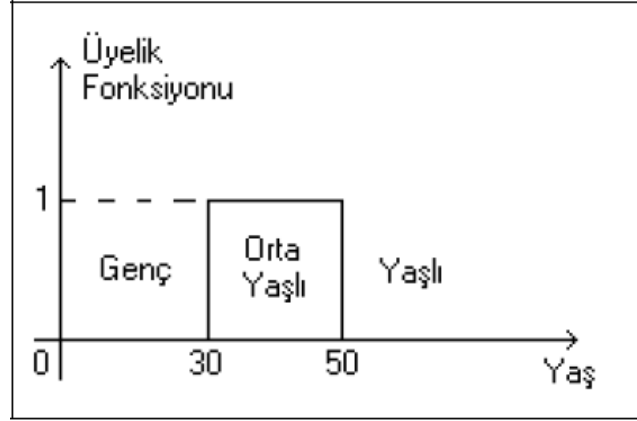
4. Durulayıcı

Bulanık küme çıkışı üzerinde yapılması gereken ölçek değişikliğini yapar ve bu ölçekleri gerçek sayılara çevirir (Şaka, 1999).

5.2.6 Bulanık Küme Teorisi

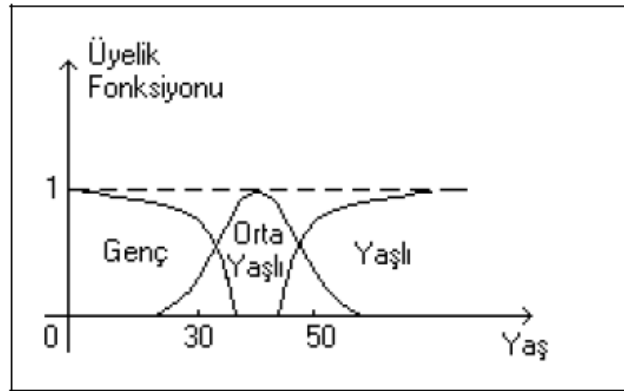
Klasik olan mantıkla yani 0 ve 1 mantığıyla yaklaşıldığında, herhangi bir nesne o kümeye ya aittir ya da ait değildir.

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi 0 – 30 yaş arasında bulunan insanlar genç sayılırken, 30 – 50 yaş arasındaki insanlar orta yaşlı ve 50 yaşın üzerindeki insanlar ise yaşlı sınıfında sayılmaktadır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Klasik Küme Teorisi Şekli (Özek ve Sinecen, 2004).

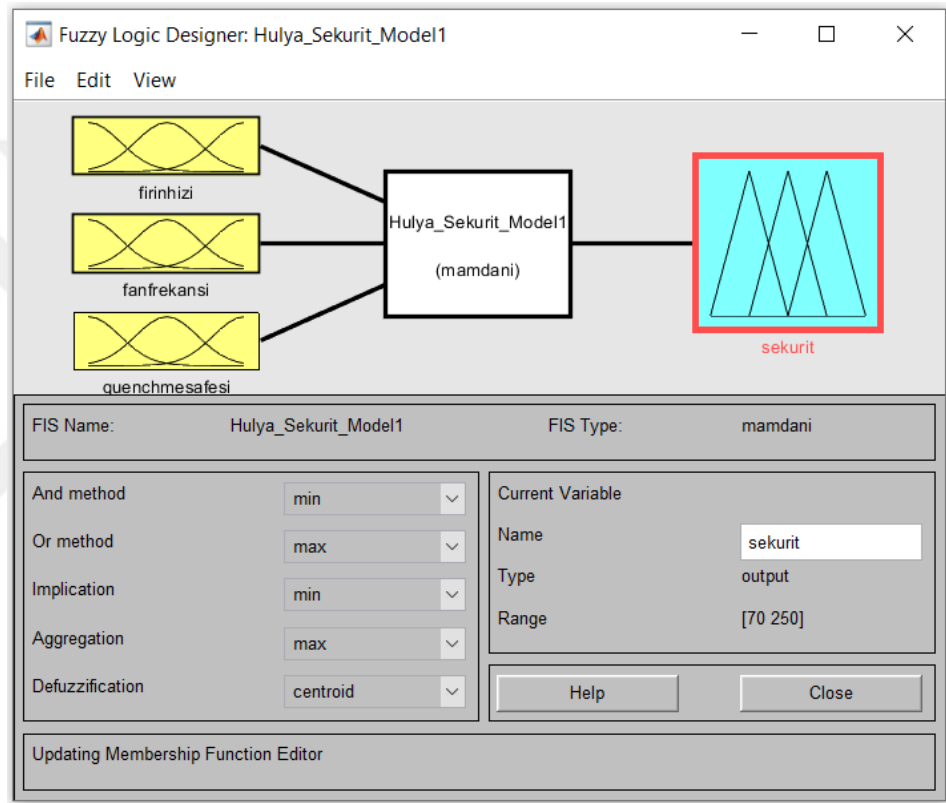
Bu şekle baktığımızda 31 yaşında olan bir insan orta yaşlı iken, 29 yaşında olan bir insan gençtir. Bu durumu bulanık mantıkla inceleyecek olursak aşağıdaki Şekil 5.10' da görüldüğü gibi 30 yaşında olan bir insan belli bir seviyede orta yaşlı sayılırken belli bir seviyede de genç sayılmaktadır. Bulanık mantıkta klasik mantıkta olduğu gibi 0 ve 1 mantığı bulunmamaktadır. Günlük hayatımızdaki gibi esnek bir yaklaşım bulunmaktadır (Özek ve Sinecen, 2004).



Şekil 5.10. Bulanık Mantıkta Küme Teorisi (Özek ve Sinecen, 2004).

5.2.7 Deney Tasarımı

Yaptığımız bu deneyin tasarlanmasındaki en önemli aşama, parametre seçimi ve deneysel dizinin tanımlanmasıdır. Deneyimiz 3 giriş ve 1 çıkış olmak üzere 4 parametreden oluşmaktadır. Şekil 5.11’ de giriş ve çıkış parametrelerimizin Matlab paket programının Fuzzy Logic araç kutusu kullanılarak yapılan modeli gösterilmektedir. Giriş parametreleri 3 seviye ve çıkış parametresi 26 seviyeden oluşmaktadır. Parametre ve seviyeler Çizelge 5.6’ da gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Giriş ve Çıkış Parametreleri Modeli

Çizelge 5.6. Deney Boyunca Değişken Olan Giriş Parametre ve Seviyeleri

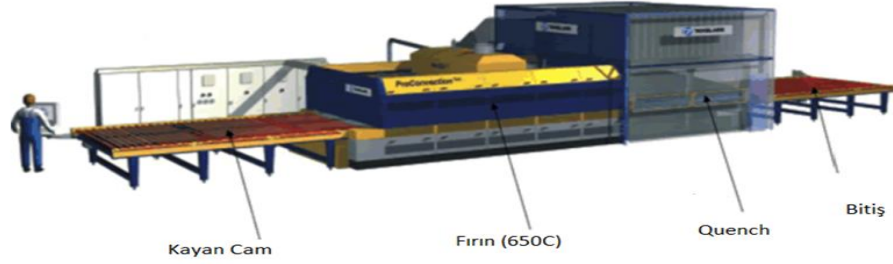
Fırın Hızı (mm/sn)	Quench Fanı Frekansı (Hz)	Quench Mesafesi (mm)
100	32	5
105	37	6
110	42	7

Her parametre için deney seviyelerinin kombinasyonu ve ayrıntılarını içeren 27 deney Çizelge 5.7’ de gösterilmiştir. Giriş parametrelerimiz fırın hızı, quench fan frekansı ve quench mesafesidir. Çıkış parametremiz ise parçacık (sekürit) sayısıdır. Bu grafikte deneyler sonucu 26 tane farklı parçacık sayısı olduğu için, farklı sayılar verilmiştir ve Fuzzy Logic çıkış değeri üyelik fonksiyonları sütununda gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Deney Çizelgesi

Deney Sonuçları					
Numune	Fırın Hızı (mm/sn)	Quench Fan Frekansı (Hz)	Quench Mesafesi (mm)	Parçacık Sayısı	Fuzzy Logic Çıkış Değeri Üyelik Fonksiyonu
1	100	32	5	180	16
2	100	32	6	183	17
3	100	32	7	185	18
4	100	37	5	210	21
5	100	37	6	213	22
6	100	37	7	216	23
7	100	42	5	230	24
8	100	42	6	233	25
9	100	42	7	237	26
10	105	32	5	130	7
11	105	32	6	132	8
12	105	32	7	135	9
13	105	37	5	160	13
14	105	37	6	162	14
15	105	37	7	165	15
16	105	42	5	185	18
17	105	42	6	187	19
18	105	42	7	190	20
19	110	32	5	83	1
20	110	32	6	86	2
21	110	32	7	88	3
22	110	37	5	114	4
23	110	37	6	116	5
24	110	37	7	119	6
25	110	42	5	140	10
26	110	42	6	143	11
27	110	42	7	146	12

Bu parametreler belirlendikten sonra ikinci adımımız bu diziye dayanan deneyleri çalıştırmaktır. 27 deneyde giriş parametrelerinin değişmesiyle çıkış parametresi olan parçacık sayısının nasıl değiştiği incelenecektir. Şekil 5.12’ de deneysel kurulum gösterilmektedir



Şekil 5.12. Deneysel Kurulum (<https://www.breakglass.org/How-is-glass-made.html>).

Yaptığımız deneylerde 4 mm kalınlığında düz cam kullanılmıştır. Düz cam renksizdir, saydamdır ve ışık geçirgenliği yüksektir. Genelde düz camlar üretimden çıktığı gibi kullanılsa da ikincil işlem olan temperleme, kaplama vs. işlemler yapılarak güvenlik ve emniyeti sağlayan camlar olarak ve dekorasyon olarak kullanılabilir. Çizelge 5.8’ de camın kimyasal analizi gösterilmektedir (<http://www.seyhancam.com.tr>).

Çizelge 5.8. Soda-Kireç Camı Kimyasal Analizi (<https://www.nkfu.com/cam-nedir-camin-yapisi-ve-cam-cesitleri/>).

Kimyasal Analiz(%Ağırlık)					
Element	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
Ölçülen değerler	71- 74	13 - 17	5 -14	0,5	1-2

5.2.8 Bulanık Mantık Tabanlı Model

Parçacık sayısı olan çıkış parametresi ile fırın hızı, quench fan frekansı ve quench mesafesi olan giriş parametreleri arasındaki ilişki, kuralları oluşturabilmek için belirtilmiştir. Her giriş değişkeni için düşük, orta ve yüksek olan üç üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Çizelge 5.9).

Çizelge 5.9. Değişken Temper Parametreleri ve Dilsel Değişkenler

Değişken Temper Parametreleri			
Fuzzy Logic Giriş Değeri Üyelik Fonksiyonu	Fırın Hızı (mm/sn)	Quench Fanı Frekansı (Hz)	Quench Mesafesi (mm)
Düşük (D)	100	32	5
Orta (O)	105	37	6
Yüksek (Y)	110	42	7

Çıkış değişkeni olarak 1'den 26'ya kadar olan sayılar olmak üzere 26 üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Parçacık sayısı 80 – 240 arasında olmalıdır. Parçacık sayısı 240'a yakın olan değer en iyi durumdadır. Çizelgemizde çıkış değişkenine en düşükte 1'den başlayıp en yüksekte 26 sayısına kadar numara verilmiştir.

5.2.9 Bulanık Kuralların Yapısı

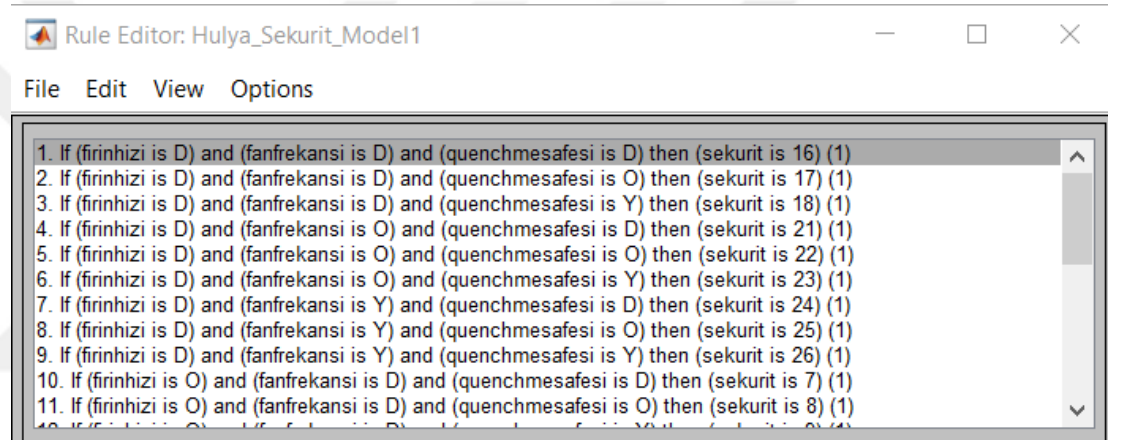
Giriş değerleri ile çıkış değerleri arasındaki ilişki bulanık kurallar yardımıyla tanımlanmıştır. Aşağıdaki modellerin oluşturulabilmesi için yapmış olduğumuz deneylere göre kurallar yazılmıştır.

1. Eğer (fırın hızı düşük) ve (quench fan frekansı düşük) ve (quench mesafesi düşük) ise (parçacık sayısı 16)
2. Eğer (fırın hızı düşük) ve (quench fan frekansı düşük) ve (quench mesafesi orta) ise (parçacık sayısı 17)
3. Eğer (fırın hızı düşük) ve (quench fan frekansı düşük) ve (quench mesafesi yüksek) ise (parçacık sayısı 18)
4. Eğer (fırın hızı düşük) ve (quench fan frekansı orta) ve (quench mesafesi düşük) ise (parçacık sayısı 21)
5. Eğer (fırın hızı düşük) ve (quench fan frekansı orta) ve (quench mesafesi orta) ise (parçacık sayısı 22)
6. Eğer (fırın hızı düşük) ve (quench fan frekansı orta) ve (quench mesafesi yüksek) ise (parçacık sayısı 23)
7. Eğer (fırın hızı düşük) ve (quench fan frekansı yüksek) ve (quench mesafesi düşük) ise (parçacık sayısı 24)

8. Eğer (fırın hızı düşük) ve (quenç fan frekansı yüksek) ve (quenç mesafesi orta) ise (parçacık sayısı 25)
9. Eğer (fırın hızı düşük) ve (quenç fan frekansı yüksek) ve (quenç mesafesi yüksek) ise (parçacık sayısı 26)
10. Eğer (fırın hızı orta) ve (quenç fan frekansı düşük) ve (quenç mesafesi düşük) ise (parçacık sayısı 7)
11. Eğer (fırın hızı orta) ve (quenç fan frekansı düşük) ve (quenç mesafesi orta) ise (parçacık sayısı 8)
12. Eğer (fırın hızı orta) ve (quenç fan frekansı düşük) ve (quenç mesafesi yüksek) ise (parçacık sayısı 9)
13. Eğer (fırın hızı orta) ve (quenç fan frekansı orta) ve (quenç mesafesi düşük) ise (parçacık sayısı 13)
14. Eğer (fırın hızı orta) ve (quenç fan frekansı orta) ve (quenç mesafesi orta) ise (parçacık sayısı 14)
15. Eğer (fırın hızı orta) ve (quenç fan frekansı orta) ve (quenç mesafesi yüksek) ise (parçacık sayısı 15)
16. Eğer (fırın hızı orta) ve (quenç fan frekansı yüksek) ve (quenç mesafesi düşük) ise (parçacık sayısı 18)
17. Eğer (fırın hızı orta) ve (quenç fan frekansı yüksek) ve (quenç mesafesi orta) ise (parçacık sayısı 19)
18. Eğer (fırın hızı orta) ve (quenç fan frekansı yüksek) ve (quenç mesafesi yüksek) ise (parçacık sayısı 20)
19. Eğer (fırın hızı yüksek) ve (quenç fan frekansı düşük) ve (quenç mesafesi düşük) ise (parçacık sayısı 1)
20. Eğer (fırın hızı yüksek) ve (quenç fan frekansı düşük) ve (quenç mesafesi orta) ise (parçacık sayısı 2)
21. Eğer (fırın hızı yüksek) ve (quenç fan frekansı düşük) ve (quenç mesafesi yüksek) ise (parçacık sayısı 3)
22. Eğer (fırın hızı yüksek) ve (quenç fan frekansı orta) ve (quenç mesafesi düşük) ise (parçacık sayısı 4)
23. Eğer (fırın hızı yüksek) ve (quenç fan frekansı orta) ve (quenç mesafesi orta) ise (parçacık sayısı 5)
24. Eğer (fırın hızı yüksek) ve (quenç fan frekansı orta) ve (quenç mesafesi yüksek) ise (parçacık sayısı 6)

25. Eğer (fırın hızı yüksek) ve (quench fan frekansı yüksek) ve (quench mesafesi düşük) ise (parçacık sayısı 10)
26. Eğer (fırın hızı yüksek) ve (quench fan frekansı yüksek) ve (quench mesafesi orta) ise (parçacık sayısı 11)
27. Eğer (fırın hızı yüksek) ve (quench fan frekansı yüksek) ve (quench mesafesi yüksek) ise (parçacık sayısı 12)

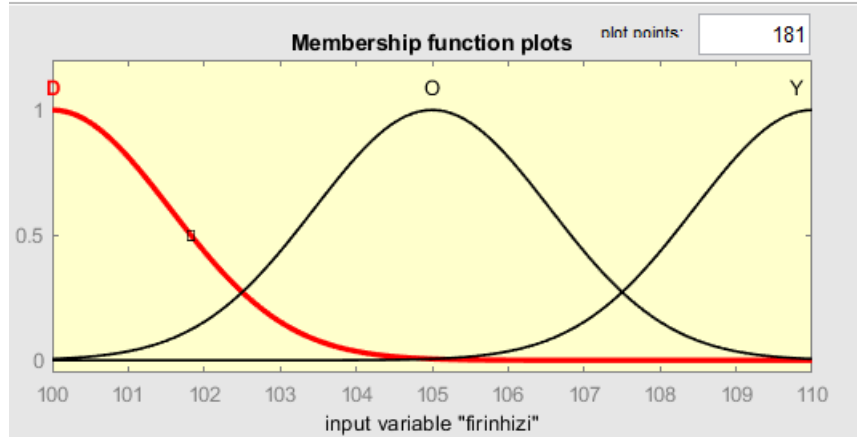
Aşağıdaki Şekil 5.13'te bulanık kuralların bir kısmının program üzerindeki görüntüsü görülmektedir. Giriş değerleri düşükten yüksek değerlere doğru artar ve çıkış değerleri de bunlara paralel olarak artış göstermektedir.



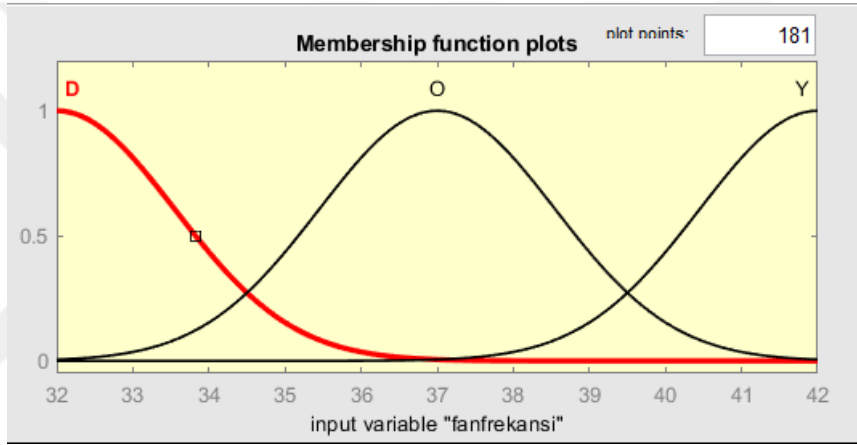
Şekil 5.13. Bulanık Kuralların Bir Kısmı

Giriş değişkenlerinde bulanık kümeleri tanımlamak için üyelik fonksiyonunun Gauss şekli kullanılır. Çıkış değişkenlerinde ise, üyelik fonksiyonlarının üçgen şekli kullanılmıştır. Üçgen şekli genelde çok kullanılır. Yalnızca tek bir kesin değerle kademeli olarak artan ve azalan özelliklere sahiptir.

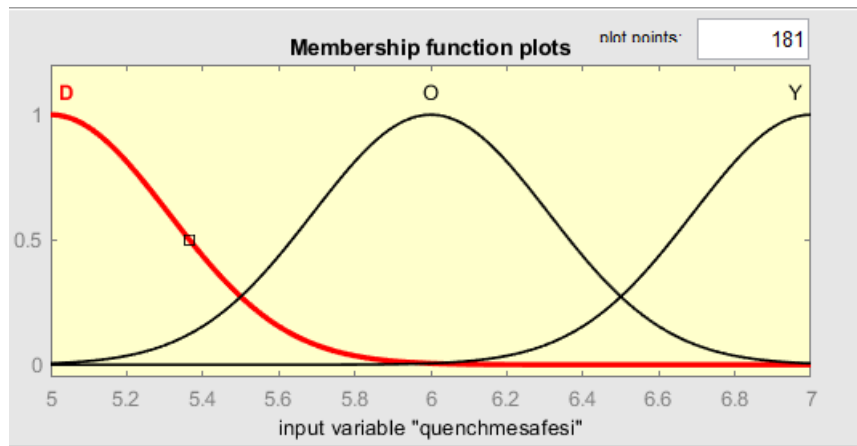
Modelde bulanık girişler düşük (D), orta (O) ve yüksek (Y) olmak üzere 3 üyelik fonksiyonu ile ifade edilmiştir. Modelde 3 giriş kullanılmıştır. Bunlar fırın hızı, fan frekansı ve quench mesafesidir. Bulanık küme girişleri için üyelik fonksiyonları Şekil 5.14, Şekil 5.15 ve Şekil 5.16' te sırasıyla verilmiştir.



Şekil 5.14. Giriş Değişkeni Olan Fırın Hızı İçin Üyelik Fonksiyonu



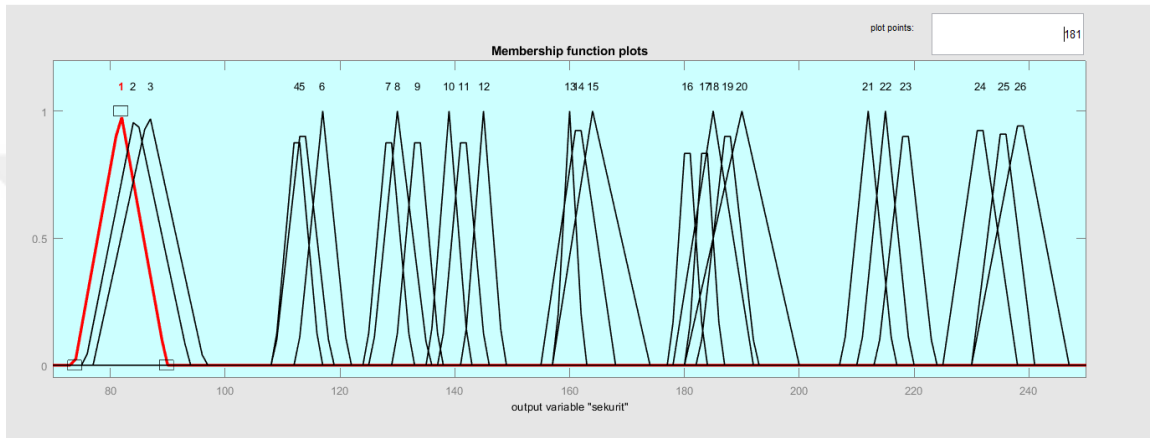
Şekil 5.15. Giriş Değişkeni Olan Fan Frekansı İçin Üyelik Fonksiyonu



Şekil 5.16. Giriş Değişkeni Olan Quench Mesafesi İçin Üyelik Fonksiyonu

Sayısal değerleri izelge 5.7' de verilmiştir. Bu değerler yukarıdaki 3 şekilde verilen 3'er bulanık kumedan oluşan bulanık girişlere, üyelik dereceleri mertebesinde paylaştırılarak bulanıklaştırılmıştır.

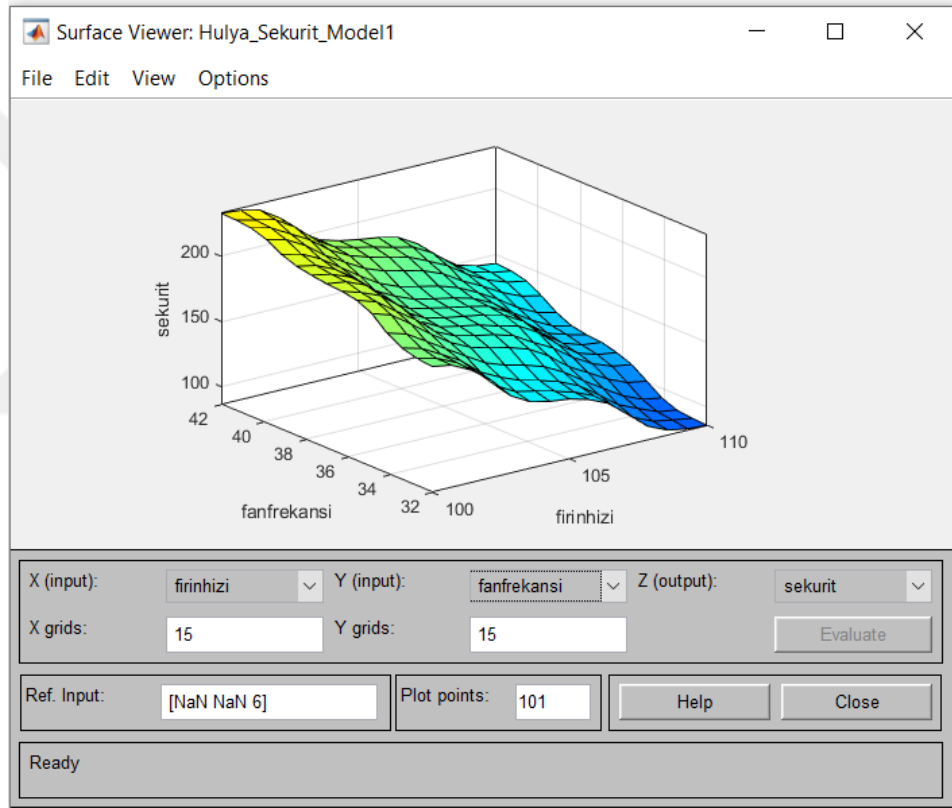
Fırın hızı değerimiz 100 ile 110 mm/sn arasında, fan frekansımız 32 ile 42 Hz arasında ve quench mesafemiz 5 ile 7 mm arasındadır. Aşağıda gösterilen şekil 5.17'da ise giriş değerlerine bağlı çıkış değişkeni olan paracak sayısı (sekurit) verilmiştir. Bulanık ıkış 70 ile 250 arasındadır ve 26 üyelik aralığına bölünmüştür.



şekil 5.17. ıkış Değişkeni Olan Sekurit İçin Üyelik İşlevi

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yaptığım çalışmada beyaz eşya sektöründe ihtiyaç olan düz camların temperlenmesi incelenmiştir. Camlar temperlendikten sonra istenilen sağlamlıkta olup olmadığı aralıklı yapılan cam kırma işlemiyle belirlenir. Camlar kırılıp oluşan parçacık sayısı kontrol edilir. Bu oluşan parçacıkların sayısını etkileyebilecek parametreler olan fırın hızı, fan frekansı ve quench mesafesi incelenerek değerler bulunmuştur.

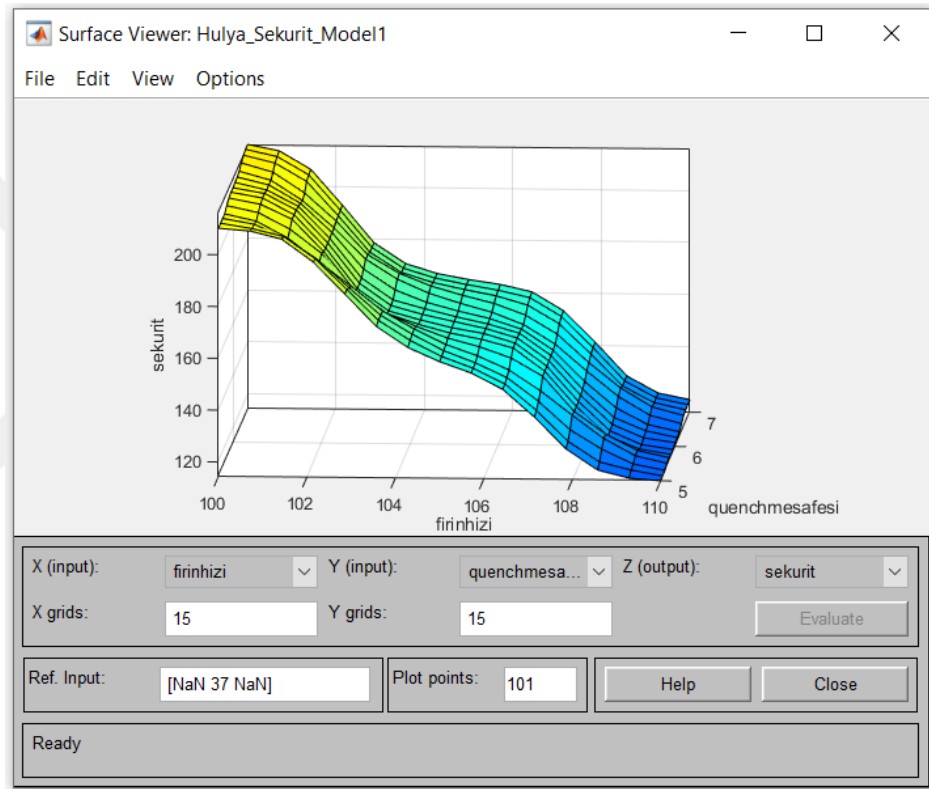


Şekil 6.1. Fırın Hızı ve Fan Frekansı Girişlerine Göre Sekurit Değeri

Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3' de programdaki üç boyutlu ilişki yüzeyleri gösterilmiştir. Şekil 6.1' de fırın hızı arttıkça parçacık sayısı azalmakta ve fırın hızı en yüksek olduğunda fan frekansı arttıkça parçacık sayısı artmaktadır. Fan frekansını sabit tuttuğumuzda fırın hızı ve sekurit değeri arasında ters orantı vardır. Yani fırın hızı arttıkça sekurit değeri azalmaktadır. Aynı şekilde fırın hızını sabit tutarsak fan frekansı ve sekurit değeri arasındaki doğru orantıyı gözlemleyebiliriz. Yüksek fan frekansı ve düşük fırın hızında en iyi sekurit değeri elde edilmektedir. En ideal

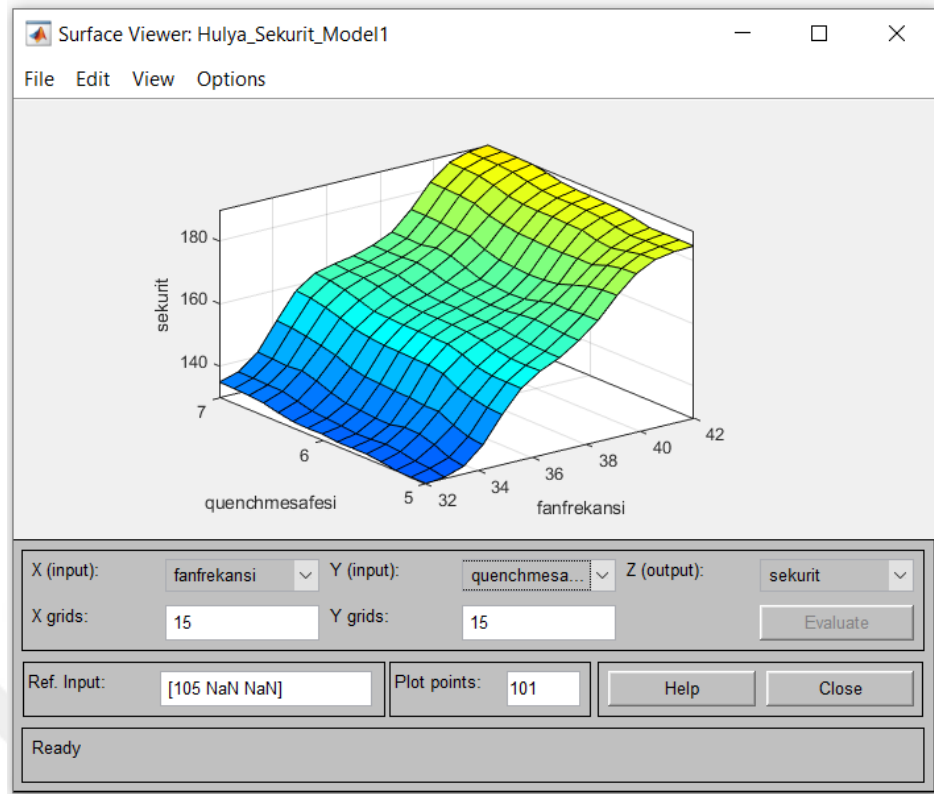
değerler ise 42 Hz fan frekansı ve 100 mm / sn fırın hızında elde edilmiştir. Bu grafikte quench mesafesi 6 mm de sabit tutulmuştur.

Şekil 6.2’ de fırın hızı en az iken quench mesafesi en çok olduğunda parçacık sayısı maksimum seviyededir. Fırın hızı maksimum seviyede iken parçacık sayısında en düşük değerler görülmektedir. Şekil 6.1’ de olduğu gibi fırın hızının artması sekürit değerinin düşmesine sebep olmaktadır. Quench mesafesi ise sekürit değerini az da olsa etkilemektedir. Quench mesafesi arttıkça sekürit değeri artmaktadır. Bu grafikte fan frekans değeri sabit 37 Hz’ de sabit tutulmuştur.



Şekil 6.2. Fırın Hızı ve Quench Mesafesi Girişlerine Göre Sekürit Değeri

Şekil 6.3’ de giriş değerleri fan frekansı ve quench mesafesidir. Quench mesafesi arttıkça sekürit değerinde artış gözlenmiştir. Fan frekansı arttıkça da aynı şekilde sekürit değerinde artış gözlenmiştir. Bu grafikte en ideal durum fan frekansı ve quench mesafesinin maksimum olduğu seviyededir. Bu grafikte fırın hızı 105 mm / sn’ de sabit tutulmuştur.



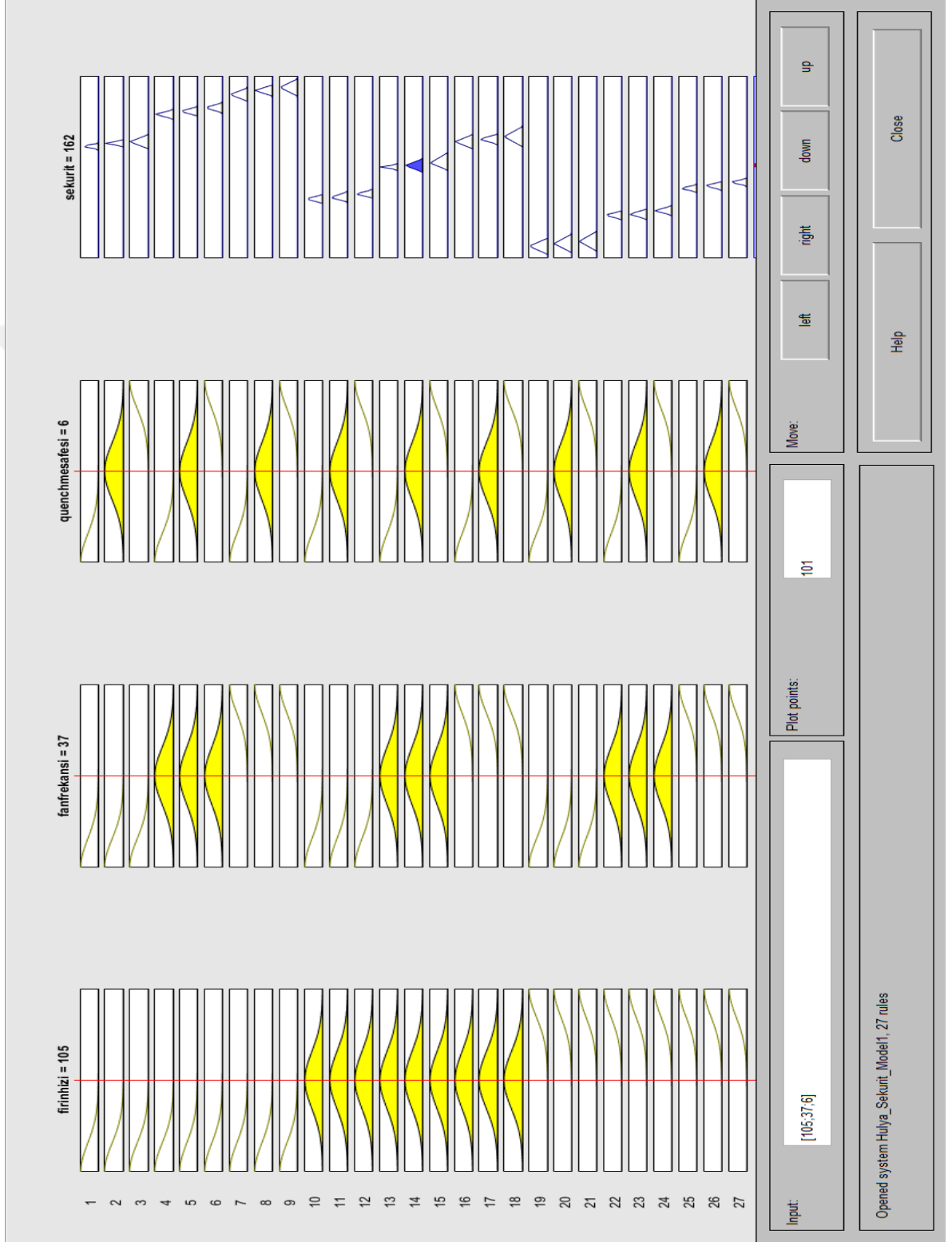
Şekil 6.3. Fan Frekansı ve Quench Mesafesi Girişlerine Göre Sekirit Değeri

Çizelge 6.1. Deney Yapılmadan Bulunan Ara Değerler

	Fırın Hızı (mm/sn)	Quench Fanı Frekansı (Hz)	Quench Mesafesi (mm)	Parçacık Sayısı
1	100	33	5	182
2	100	40	5	226
3	100	32	5,5	181
4	100	32	5,8	184
5	102	32	5	162
6	102,9	32,8	6,5	159
7	103	32	5	143
8	104,4	42,7	5,7	189
9	105,2	37,5	5,7	162
10	106	32	5	124
11	108,2	42,6	6,2	156
12	109	32	6,2	88
13	109	35	5	103
14	109	35	5,7	106
15	109	37,5	5,7	121

Kesin değerlerin arasında kalan değerleri bulabilmemizde bulanık mantık modeli fayda sağlamaktadır. Bulanık mantık tabanlı modelde yaptığımız doğrulama matematik formül vermediği halde sonuçlar ara değerde de olsa doğru sonucu

vereceği tahmin edilmektedir. Programda girilen parametreler ara değerde de olsa çıkış değerleri bulunmuştur. Yani deney yapmadan da ara değerleri tahmin edebileceğimizi göstermektedir (izelge 6.1).



şekil 6.4. Deneydeki 105 – 37 - 6 Girdilerine Göre Durulaştırma Sonucu

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasına beyaz eşya sektöründe kullanılan cam malzeme ve bu malzemenin tarihsel gelişimi incelenerek başlanmıştır. Cam malzemenin bileşenleri ve camın özellikleri açıklanmıştır. Devamında cam üretimi ve temperleme işlemi anlatılmıştır. Deneilerimizde 4 mm kalınlığında düz cam kullanılmıştır. Bu cama fırın hızı, fan frekansı ve quench mesafesinin etkileri incelenmiş ve bu değerler tablo haline getirilmiştir.

Bu çalışmanın amacı camı etkileyen bu değerler cam kırıldıktan sonra istenen parçacık sayısını nasıl etkilediğini ortaya çıkarmaktır. Fırın hızı 100 mm / sn, fan frekansı 42 Hz ve quench mesafesi 7 mm alınarak 237 tane parçacık sayısı elde edilir. Bu değerler en uygun parametre değerleridir. Bu yüzden parametre değerlerimiz çok önemlidir.

Tezimizde deneyde kullanılan camın özellikleri ve fırının özellikleri anlatılmıştır. Kullanılan parametrelerle Fuzzy Logic' te model oluşturulmuştur. Fan frekansı ve quench mesafesi arttıkça parçacık sayısının arttığı görülmüştür. Aynı zamanda fırın hızı en düşük seviyede iken parçacık sayısında artma olmuştur. Bu değerler göz önüne alınarak, en iyi temperleme fan frekansı ve quench mesafesi yüksekken ve fırın hızı düşükken gerçekleşmektedir.

Bulanık mantık kullanılarak üretimin daha sağlıklı aşamaya gelmesi ve firmanın ekonomisine katkı sağlaması beklenmektedir.

8. 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.
- Akçay M, Sekmen Y ve Yazıcı H (2016) “The Effect of Different Cooling Unit Configurations and Cooling Temperatures on the Glass Tempering Quality”, Atomization And Sprays, 26(10): 1051-1067.
- Aktaş N (2014) Camların Özellikleri, <https://prezi.com/k9mct8fxzwx/camlarinfiziksel-ozellikleri/>, 21 Şubat 2019.
- Ankara Sanayi Odası, Cam ve Cam Ürünleri Sektörü Raporu, <http://www.aso.org.tr/wp-content/uploads/2017/09/12.pdf>, 12 Eylül 2017.
- Arslan N (2013) “Serbest Cam Tasarımı ve Endüstriyel Cam Tasarımı Eğitiminde Sıcak Cam Atölyesinin Önemi”, Sanat-Tasarım Dergisi, 1(4): 39-46.
- Aslan G (2007) Cam Sanatının Eğitim Kurumlarındaki Yeri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Astascam, Astaş Cam Ürünler, <http://astascam.com/>, 27.05.2019.
- Aydın A, Camın İlginç Tarihi, <https://kimyaca.com/camin-iliginc-tarihi/>, 24 Kasım 2015.
- Axinte E (2011) “Glasses as Engineering Materials: A review”, Materials and Design, 32: 1717-1732.
- Bilgiustam, Cam Nedir, <https://www.bilgiustam.com/camin-icadi-ve-tarihcesi/>, 12 Aralık 2018.
- Birbilgi, Camın Yapısı ve Özellikleri, <https://www.1bilgi.com/endustri/1613/camin-yapisi-ve-ozellikleri.html>, 22.02.2019.
- Breakglass, How is Glass Made? Read About Toughened Glass Manufacture, <https://www.breakglass.org/How-is-glass-made.html>, 04 Temmuz 2019.
- Brennancorb, What Are Tempered Glass Windows?, <https://brennancorp.com/blog/what-are-tempered-glass-windows/>, 24 Temmuz 2019.
- Cmsmachine, Düz Cam Temperleme Fırınları – FGTF, <http://www.cmsmachine.com/urunler-tr-tr/cam-temperleme-firinlari-tr-tr/duz-cam-temperleme-frnlar-fgtf/>, 01 Eylül 2019.

- Davidson, S (2003) "Conservation and Restoration of Glass", Second Edition, Butterworth-Heinemann, UK.
- Degerlidogaltas, Obsidyen, <https://www.degerlidogaltas.com/obsidyen/>, 19 Haziran 2019.
- Duman U, Sönmez Ş, Baytak T ve Bulut O (2018) "Static Analysis Of The Stress State Caused By Heating-Quenching Process In Tempered Glasses", 21st International Research/Expert Conference.
- Erkuş B (2012) Cam Şeritlerin Isıl Şekil Değişirmelerinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Foraboschi P (2014) "Optimal Design of Glass Plates Loaded Transversally", Materials and Design, 62:443-458.
- 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.
- Günay V ve Yılmaz Ş (2010) "Cam - Seramikler Bilim ve Teknolojisi", TÜBİTAK, Gebze.
- Haber32, Lamine Cam Nedir? Nerelerde Kullanılır?, <http://www.haber32.com.tr/turkiye/lamine-cam-nedir-nerelerde-kullanilir-h97552.html>, 01 Eylül 2019.
- Harmancı F (2018) Camın Delinmesinde Kullanılan Delme Parametrelerinin İstatistiksel Yöntemlerle Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, AİBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bolu.
- Kaner SK (2008) Cam Ürün Üretim Aşamalarının ve Ürün Özelliklerine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, PÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Kantur U (2009) Kurşun Geçirmez Cam Üretim Sürecinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, TÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya.
- Karaağaç M (2017) Düz Camın Yüksek Basınçlı Su (Waterjet) ile Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, AİBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bolu.
- Kimya Özel Konular Bilim Sitesi, Camlar ve Seramikler, <https://kimyaozelkonular.wordpress.com/konular/camlar-ve-seramikler/>, 25 Aralık 2018.
- Kocabağ D (2002) Cam Kimyası, Özellikleri, Uygulaması, Birsen Yayınevi, İstanbul.

- Küçükerman Ö (1985) Cam Sanatı ve Geleneksel Türk Camcılığında Örnekler, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, No: 271 Art Series: 39.
- Lee H, Seoyeong C, Kyungmin Y and Lee J (2012) “Glass Thickness and Fragmentation Behavior in Stressed Glasses”, New Journal of Glass and Ceramics, 2012, 2, 138-143.
- Leitch KK (2005) Structural Glass Technology: Systems and Applications, MSc Thesis, Massachusetts Institute of Technology, United States of America.
- Maviş B (2018) Bulanık Mantık (Fuzzy Logic), http://kergun.baun.edu.tr/20172018Guz/YZ_Sunumlar/Bulanik_Mantik_Busra_Mavis.pdf, 03 Temmuz 2019.
- Mediaclick, Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Nedir?, <https://www.mediaclick.com.tr/blog/bulanik-mantik-fuzzy-logic-nedir>, 03 Temmuz 2019.
- Megep (2008) Seramik ve Cam Teknolojisi Camın Kimyasal Yapısı, MEB, Ankara.
- Megep (2008) Seramik ve Cam Teknolojisi Türkiye’de Cam Sektörü, MEB, Ankara.
- Megep (2008) Seramik ve Cam Teknolojisi Üretim Kademeleri, MEB, Ankara.
- Megep (2012) Kimya Teknolojisi Cam Analizleri, MEB, Ankara.
- Megep (2013) Seramik ve Cam Teknolojisi, Cam Türleri ve Camı Oluşturan Oksitler, MEB, Ankara.
- Megep (2013) Seramik ve Cam Teknolojisi Cam Üretimi ve Şekillendirme Yöntemleri, MEB, Ankara.
- Metalurjimalzeme, Temperli Cam Nedir?, <https://www.metalurjimalzeme.net/temperli-cam-nedir/>, 14 Mart 2019.
- Muhendishane, Temel Malzeme Bilgisi / Amorf Yapıdaki Seramikler, <https://muhendishane.org/kutuphane/temel-malzeme-bilgisi/amorf-yapidaki-seramikler/>, 19 Haziran 2019.
- Nielsen JH (2016) “Remaining Stress-State And Strain-Energy In Tempered Glass”, Springer International Publishing, Switzerland.
- Nkfu Bilim Sitesi, Cam Nedir, Camın Yapısı ve Cam Çeşitleri, <http://www.nkfu.com/cam-nedir-camin-yapisi-ve-cam-cesitleri/>, 19 Aralık 2018.
- Orbay B (2007) Potasyum Mikası ve Kordierit İçeren İşlenebilir Cam Seramiklere Çekirdeklenme Katalisti (TiO₂) İlavesinin Kristalizasyon Davranışı ve Elektriksel Özellikler Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öbelik Y (2011) Cam Hammaddesi Mineralojisi ve Cam Teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, NÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.

- Öcal G, Çağlar D, Atılğan DB ve İnce İ (2017) Camlar-Seramikler-Görsel Sanatların Kimya ile İlişkisi, <https://kimyaozelkonular.wordpress.com/konular/camlar-ve-seramikler/>, 06 Şubat 2019.
- Özek A ve Sinecen M (2004) “Klima Sistem Kontrolünün Bulanık Mantık ile Modellenmesi”, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(3): 353-358.
- Persson HR (1983) Glass Technology, Manufacturing and Properties, Cheong Moon Gak Publ.Co., Seoul-Korea, 25-27.
- Portal Netcad, Bulanık Mantık (Fuzzy Logic), <http://portal.netcad.com.tr/pages/viewpage.action?pageId=104794233>, 03 Temmuz 2019.
- Reckens JLM (1998) “Facades and Architecture, Fascination in Aluminium and Glass”, TU Delft.
- Renklinot, Camı Oluşturan Maddeler Nelerdir?, <http://www.renklinot.com/soru-cevap-2/cami-olusturan-maddeler-nelerdir.html>, 03.04.2019.
- Sar-cam, Low-E Cam, <http://www.sar-cam.com.tr/cam-cesitleri/low-e-cam>, 06 Nisan 2019.
- Saygun Y, Obsidyen Taşı Nedir? Nasıl Kullanılır? Özellikleri ve Faydaları Nelerdir?, <https://bilgihanem.com/obsidyen-tasi-nedir-nasil-kullanilir/>, 10 Nisan 2019.
- 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.
- Scientificamerican, How is Tempered Glass Made?, <https://www.scientificamerican.com/article/howis-empared-glass-mad/>, 26 Temmuz 2019.
- Seyhan Cam, Düz Cam, <http://www.seyhancam.com.tr/tr/?i=pages&id=137>, 04 Temmuz 2019.
- Şaka S (1999) Bulanık Kontrol ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şişecam, Camda emniyet Ve Güvenlik, <http://www.isicam.com.tr/tr/Documents/K-Serisi/Sisecam-Duzcam-Emniyet-Ve-Guvenlik-Kitapçigi-TR.pdf>, 08 Mart 2019.
- Tavukçu E (2015) Cam, <http://kimya.ertugrultavukcu.com/cam/>, 06.03.2019.
- Türkbaş S ve Ataer ÖE (2007) “Camın Temperlenmesinde Isıtma ve Soğutma Süreçlerinin Karışık Sınır Şartlarında Sayısal Modellenmesi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(4): 727-738.

- TOBB (2012) Türkiye Cam ve Cam Ürünleri Sanayi Meclisi Sektör Raporu, Yayın No: 203, Ankara
- Tosun K (2013) Camlar, http://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/13._Camlar.pdf, 26 Aralık 2018.
- Tütünoğlu Y, Güven A ve Öztürk İT (2012) “Cam Temperleme Fırınında Enerji Analizi”, TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, 53(629), 55-62.
- Ünal O (2017) Cam Malzemeler, http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/icerik/cam.htm, 25 Ocak 2019.
- Vocialta M, Corrado M and Molinari JF (2017) “Numerical Analysis of Fragmentation in Tempered Glass with Parallel Dynamic Insertion of Cohesive Elements”, Civil Engineering Institute, Materials Science and Engineering Institute École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Station 18, CH-1015 Lausanne, Switzerland.
- 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.
- Zanotto ED and Mauro JC (2017) “The Glassy State of Matter: Its Definition and Ultimate Fate”, Journal of Non-Crystalline Solids, 471: 490-495.

9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hülya AKDAŞ

Doğum Yeri ve Tarihi : Bolu, 17.02.1992

Lisans Üniversite : Bozok Üniversitesi

Elektronik posta : hulyakalayci14@gmail.com

İletişim Adresi : Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi