

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



DÜZ CAMIN TEMPERLENMESİNDE TEMPER
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEFA GÖKDEMİR

BOLU, EYLÜL - 2019

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



DÜZ CAMIN TEMPERLENMESİNDE TEMPER
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEFA GÖKDEMİR

BOLU, EYLÜL - 2019

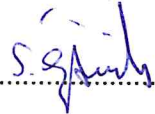
KABUL VE ONAY SAYFASI

Sefa GÖKDEMİR tarafından hazırlanan “**DÜZ CAMIN TEMPERLENMESİNDE TEMPER PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**” 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

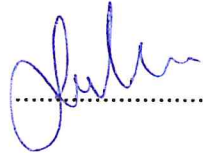
İmza


.....

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


.....

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DAL
Sakarya Üniversitesi


.....


Prof. Dr. Ömer ÖZYURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Eşim, kızım ve aileme,

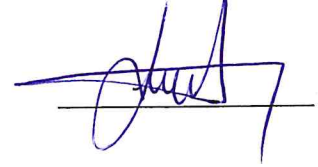
ETİK BEYAN

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

- 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 çalışmasında 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.

Sefa GÖKDEMİR



ÖZET

**DÜZ CAMIN TEMPERLENMESİNDE TEMPER PARAMETRELERİNİN
OPTİMİZASYONU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SEFA GÖKDEMİR
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. SABRİ ÖZTÜRK)**

BOLU, EYLÜL - 2019

Günümüzde cam sektörü önemli bir yere sahiptir. Özellikle beyaz eşya sektöründe kullanılan camların kalite kriterleri oldukça yüksektir. Temper prosesi de beyaz eşya camlarında büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada temper prosesinde bir kalite problemi olarak karşılaşılan kamburluk için optimizasyon çalışması yapılmıştır. Çalışma 4 mm düz camlar içindir. Veri analiz yöntemi olarak genel regresyon analizi ve bulanık mantık tabanlı fuzzy logic kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kamburluk için en etkili girdi parametreler sırasıyla sıcaklık, fırın hızı ve quench yüksekliği olarak belirlenmiştir. Ayrıca yapılan ara değer deneme sonucunda bulanık mantık ve genel regresyon sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. Sonuçlar tutarlıdır.

ANAHTAR KELİMELEER: Cam, Temper Prosesi, Bulanık Mantık, Genel Regresyon Analizi

ABSTRACT

**OPTIMIZATION OF TEMPER PARAMETERS IN FLOAT GLASS
TEMPERING
MSC THESIS
SEFA GÖKDEMİR
BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. SABRİ ÖZTÜRK)**

BOLU, SEPTEMBER 2019

Today, glass sector takes an important place. Especially the quality criterias of the glass which is used in production of white goods are pretty high. Also tempered process is really important for the glass of white goods. In this study, Optimisation method has been done for flatness which is seen as a quality problem in temper process. This study has been done for 4 mm flat glass. As a data analysis technic, general regression analysis and fuzzy logic has been used. In the results of the study, the most effective input for flatness has been found parameters respectively as tempature, furnace rate and quench. Besides that, in the result of intermediate value testing, the results of the fuzzy logic and general regression analysis are proximate. The results are consistent.

KEYWORDS: Glass, Tempered Process, Fuzzy Logic, General Regression Analysis

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	viii
TEŞEKKÜR	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	3
3. CAM	6
3.1 Camın Tarihsel Gelişimi	6
3.2 Camın Tanımı ve Camın Yapısı	8
3.3 Camın Özellikleri	10
3.3.1 Camın Fiziksel Özellikleri	10
3.3.2 Camın Kimyasal Özellikleri	11
3.3.3 Camın Mekanik Özellikleri	14
3.4 Türkiye’de Cam Sektörü	14
4. DÜZ CAMLARIN TEMPERLENMESİ.....	18
4.1 Temper Prosesi	18
4.2 Temper Fırını.....	18
4.2.1 Air Convection Sistemi.....	21
4.2.2 Rezistanslar	22
4.2.3 Seramik Merdaneler.....	23
4.2.3.1 Düz Seramik Merdaneler	23
4.2.3.2 Yivli Seramik Merdaneler.....	24
4.3 Quench.....	24
4.4 Cooling	28
4.5 Temper Prosesinde Karşılaşılan Hatalar	29
4.5.1 Kamburluk	29
4.5.2 Merdane Batması	31
4.5.3 Sekurit Test Değerinin Tutmaması	31
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
5.1 Materyal.....	34
5.2 Yöntem	37
5.2.1 Genel Regresyon Analizi	40
5.2.2 Bulanık Mantık	42
5.2.3 Bulanık Mantık Temelli Model Oluşturma	44

6. BULGULAR VE TARTIŞMA	52
7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	59
8.KAYNAKLAR	61
9.ÖZGEÇMİŞ.....	63



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Obsidyen	3
Şekil 2.2. Kuvars	4
Şekil 3.1. SiO ₂ 'nin kristal (a) ve amorf (b) yapısı	8
Şekil 3.2. Şematik SiO ₂ 'silika' tetrahedra görünümü	12
Şekil 4.1. Temper Fırın Kontrol Ekranı	19
Şekil 4.2. Temper Fırınında Camların Isıtılması Görünümü.	20
Şekil 4.3. Temper Fırını Görünümü.....	20
Şekil 4.4. Fırın Alt Air Convection Sistemi.....	21
Şekil 4.5. Fırın Üst Air Convection Sistemi.	21
Şekil 4.6. Rezistans Görünümü.....	22
Şekil 4.7. Fırın Kontrol Ekranı Rezistans Ayar Bölümü Görünümü.	22
Şekil 4.8. Seramik Merdanelerin Fırın İçindeki Görünümü.	23
Şekil 4.9. Düz Seramik Merdanelerin Fırın İçindeki Görünümü.	24
Şekil 4.10. Yivli Seramik Merdanelerin Fırın İçindeki Görünümü.	24
Şekil 4.11. Quench Fan Motoru Görünümü.....	25
Şekil 4.12. Quench Bölümü Görünümü.....	26
Şekil 4.13. Quench Nozulları Örnek Hava Üfleme Görünümü.	26
Şekil 4.14. Quench Nozulları Görünümü.	27
Şekil 4.15. Fırın Quench Arası Cam Geçiş Görünümü.	27
Şekil 4.16. Cooling Fan Motoru Görünümü.	28
Şekil 4.17. Cooling Bölümü Görünümü.	29
Şekil 4.18. Kamburluk Çeşitleri.....	30
Şekil 4.19. Kamburluk Ölçüm Görünümü.	31
Şekil 4.20. Sekurit Test Camı.	32
Şekil 4.21. Sekurit Testi Uygulama Görünümü.....	32
Şekil 5.1. Fırın Ön Kapak Camı	34
Şekil 5.2. Fırın Rezistans Yerleşimi	35
Şekil 5.3. Termal Kamera Isı Ölçüm Ekranı.....	37
Şekil 5.4. Fırın Kontrol Ekranı	38
Şekil 5.5. Kamburluk Ölçüm Görünümü.....	38
Şekil 5.6. Bulanık Mantık Sisteminin Yapısı	42
Şekil 5.7. Düz Camların Kamburluğunu Tahmin Etmek İçin Oluşturulan Bulanık Mantık Modeli.....	45
Şekil 5.8. Fırın Hızı Üyelik Fonksiyonları.....	46
Şekil 5.9. Sıcaklık Üyelik Fonksiyonları	47
Şekil 5.10. Quench Yüksekliği Üyelik Fonksiyonları	47
Şekil 5.11. Kamburluk Üyelik Fonksiyonları	50
Şekil 6.1. Camın Kamburluğunun Fırın Hızı ve Sıcaklığa Göre Değişimi	52
Şekil 6.2. Camın Kamburluğunun Quench Yüksekliği ve Sıcaklığa Göre Değişimi	53
Şekil 6.3. Camın Kamburluğunun Quench Yüksekliği ve Fırın Hızına Göre Değişimi	53
Şekil 6.4. Gerçek Değerlere Göre Fuzzy Logic ve Genel Regresyon Tahmini	56
Şekil 6.5. Fuzzy Logic ve Genel Regresyon Tahmini Karşılaştırması	57

Şekil 6.6. Genel Regresyon Tahmini	58
Şekil 6.7. Fuzzy Logic Tahmini.....	58
Şekil 6.1. Camın Kamburluğunun Fırın Hızı ve Sıcaklığa Göre Değişimi	52
Şekil 6.2. Camın Kamburluğunun Quench Yüksekliği ve Sıcaklığa Göre Değişimi	53
Şekil 6.3. Camın Kamburluğunun Quench Yüksekliği ve Fırın Hızına Göre Değişimi	53
Şekil 6.4. Gerçek Değerlere Göre Fuzzy Logic ve Genel Regresyon Tahmini	56
Şekil 6.5. Fuzzy Logic ve Genel Regresyon Tahmini Karşılaştırması	57
Şekil 6.6. Genel Regresyon Tahmini	58
Şekil 6.7. Fuzzy Logic Tahmini.....	58
Şekil 6.1. Camın Kamburluğunun Fırın Hızı ve Sıcaklığa Göre Değişimi	52
Şekil 6.2. Camın Kamburluğunun Quench Yüksekliği ve Sıcaklığa Göre Değişimi	53
Şekil 6.3. Camın Kamburluğunun Quench Yüksekliği ve Fırın Hızına Göre Değişimi	53
Şekil 6.4. Gerçek Değerlere Göre Fuzzy Logic ve Genel Regresyon Tahmini	56
Şekil 6.5. Fuzzy Logic ve Genel Regresyon Tahmini Karşılaştırması	57
Şekil 6.6. Genel Regresyon Tahmini	58
Şekil 6.7. Fuzzy Logic Tahmini.....	58

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Üretim Kapasitelerine Göre Dünya Düz Cam Üreticileri Sıralaması	16
Çizelge 3.2. Cam Satışlarına Göre Dünya Düz Cam Üreticileri	17
Çizelge 5.1. Fırın Rezistans Tablosu	35
Çizelge 5.2. Veri Ölçümleri Tablosu	39
Çizelge 5.3. Genel Regresyon Analizi Tablosu	41
Çizelge 5.4. Proses Parametrelerini Tanımlamak İçin Kullanılan Değişkenler.	45
Çizelge 5.5. Proses Parametrelerini Belirlemek İçin Oluşturulan Bulanık Kural Tablosu	48
Çizelge 5.6. Bulanık Mantık Deney Doğrulama Sonuçları.	50
Çizelge 6.1. Genel Regresyon ve Bulanık Mantık Doğrulama Sonuçları	55

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

°C	: Celsius
Al₂O₃	: Alüminyumoksit
As₂O₃	: Arseniktrioksit
B₂O₃	: Bor Oksit
BaO	: Baryumoksit
Bar	: Basınç Birimi
BeO	: Berilyumoksit
CaO	: Kalsiyumoksit
CdO	: Kadmiyumoksit
cm	: Santimetre
cm³	: Santimetreküp
Ga₂O₃	: Galyumoksit
GeO₂	: Germanyumoksit
gr	: Gram
Hz	: Hertz
K₂O	: Potasyumoksit
Kw	: Kilowatt
La₂O₃	: Lantanyumoksit
Li₂O	: Lityumoksit
MgO	: Magnezyumoksit
mm	: Milimetre
MÖ	: Milattan Önce
Mpa	: Mega Pascal
MS	: Milattan Sonra
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
Na₂O	: Sodyumoksit
O	: Oksijen
P₂O₅	: Fosforpentaoksit
Pa	: Pascal
PbO	: Kurşunoksit
PbO₂	: Kurşundioksit

R	: Direnç
Rb₂O	: Rubidyumoksit
Re	: Reynolds sayısı
Sb₂O₅	: Antimonpentaoksit
Sc₂O₃	: Skandiyumoksit
Si	: Silisyum
SiO₂	: Silisyumoksit
sn	: Saniye
SnO₂	: Kalayoksit
SrO	: Stronsiyumoksit
TeO	: Tellüroksit
ThO₂	: Toryumdioksit
TiO₂	: Titanyumdioksit
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TOBB	: Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
V₂O₅	: Vanadyumpentaoksit
Y₂O₃	: İttriyumoksit
ZnO	: Çinkooksit
ZrO₂	: Zirkonyumdioksit

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması sürecinde benden yardımlarını esirgemeyen, danışmanım Doç. Dr. Sabri ÖZTÜRK'e, tezimin uygulama aşamasında yardımlarını ve imkanlarını esirgemeyen YORGLASS Bolu İşletmesine teşekkür ederim.

Tez yazım sürecinde sabırla destek olan eşim Derya GÖKDEMİR'e çok teşekkür ederim.



1. GİRİŞ

Cam genel olarak sert, kırılmaya müsait, inorganik amorf yapıda saydam ya da yarısaydam olarak tarif edilen katı bir malzeme olarak tanımlanmaktadır.

Camın hammaddesi silisyumdur. Ani soğutulmuş alkali ve torak alkali metal oksitlerle bazı metal oksitlerin çözülmesiyle elde edilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda eritilmiş silis kumunun içine bazı maddelerin eklenmesi ile elde edilir. Cam amorf yapısını, katılaşıırken korumaya devam eder. Camın sağlam olması ve saydamlığı amorf yapısı sayesinde. Katı maddelerin kristalleşmesi özelliğini cam göstermez. Gösterdiği bu özellik nedeniyle zaman zaman sıvı grubuna dahil edilir. (<https://bilgihanem.com/camin-icadi-cam-nedir/>,08 Kasım 2018).

Cam özellikleri, yüksek ısılara çıkıldığı zaman değişiklik göstermektedir. İlk önce yumuşama gösterir ve daha sonra akıcılık kazanmaktadır. Cam malzemeye yeterli miktarda ısı uygulanırsa su gibi akmaktadır. Cam malzeme bir maden olarak tanımlanmaktadır.

Cam, diğer madenlerle kıyaslandığında önemli oranda bir değişikliği bulunmaktadır. Bu değişiklik erime noktası değildir, yumuşama noktasıdır. Bu önemli özellik sebebiyle camın içinde bulunduğu ortam ısısı artış gösterir ise cam malzeme daha çok sıvılaşma gösterir ve akıcı hale geçer. Cam, yapısı açısından incelendiğinde hayret verici yalınlıkta bir maddedir. Silisyum dioksit (SiO_2) ve maden oksitleri ile beraber oluşan bir karışımdır. Asıl olarak cama özellik kazandıran atomun yapısındaki enteresan olan bir durumdur. İşte cam malzemenin bu ilginç özelliklerinden dolayı ne bir sıvı gibi, ne kristal yapıda olan bir katı gibidir. Katı ve sıvı durumlarının arasında önemli bir yere sahiptir. Bu önemli özelliğe göre cam malzeme katılaşma derecesinin altında olan dondurulmuş bir sıvı olarak tanımlanmaktadır (Küçükerman, 1985).

Camın hammadde olarak üretiminin yanında işlenmesi de önemlidir. Cam malzemenin işlenmesinde uygulanan temel işlemler şu şekildedir; kesme işlemi, kenar işleme, delik delme işlemi, baskı yapma işlemi, tavlama ve temperleme işlemleridir.

Tez konusunda temperleme prosesine odaklanılmıştır. Camın temperlenmesinde kullanılan temper fırını incelenmiş, fırının bölümleri tanıtılmıştır.

Düz camlarının temperlenmesinde temper parametrelerinin optimizasyonu tez konusu olarak belirlenmiştir. Temper fırınından alınan değerler karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucu optimum değerlerin bulunması ile enerji tasarrufu sağlanmıştır.



2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Cam işleme, binlerce yıldır yapılan bir uygulamadır. Camla ilgili kaynaklar incelendiğinde aslında zaten dünya üzerinde olan bir madde olduğundan söz edilmektedir. Yanardağ patlamaları, şimşek çakmaları veya meteor düşmesi olayları ile kayalar ermiş, ani soğuma sonucunda camın oluştuğundan söz edilmektedir (Karaağaç, 2017).

Doğada cam, doğal olarak kuvars ve obsidyen şeklinde görülmektedir (Şekil 2.1.). Asırlar önce volkanik olaylar sonucu silika ergimiş ve obsidyen oluşturmuştur. Obsidyen çoğunlukla kahverengi, koyu kırmızı, yarı geçirgen bir maddedir. Kimyasal bileşimi pencere camı (kireç, silika, soda) ile aynıdır (Megep, 2008). Obsidyeni atalarımız balta, ok ucu, bıçak gibi aletler yapmak için kullanmıştır (Günay ve Yılmaz, 2010). Kuvars ise saydamdır, renksizdir. İşlenmiş cama benzemektedir (Şekil 2.2). Kristaller şeklinde bulunup, renkli kuvars kristalleri mücevher yapımında kullanılmaktadır (Megep, 2008).



Şekil 2.1. Obsidyen (<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/obsidyen,08> Kasım 2018).



Şekil 2.2. Kuvars (<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kuvars>, 08 Kasım 2018).

Camın temper prosesi; temper fırınlarında yaklaşık 700°C'ye ısıtılıp aniden soğutma işlemi ile yapılır (Cossavella vd 2008, Morcant vd 2008, Panait vd 2008, Yvonnet vd, 2008; Megep, 2008; Gölcü vd, 2012; Yazıcı vd, 2012; Akçay vd, 2012; Köseoğlu vd, 2012; Sekmen vd, 2012). Temper işlemi sayesinde camın ortasında çekme gerilmeleri, yüzeyinde ise basma gerilmeleri oluşur. Bu sayede camın dayanımı arttırılır (Kantürer, 2009). Tempersiz camlara göre 4-5 kat bir dayanım artışı söz konusudur (Megep, 2008; Kantürer, 2009). Tempersiz camlarda 40-50 °C'lik ani sıcaklık değişiminde cam kırılırken, temperlenmiş camlarda bu sıcaklık değeri 150 °C'dir. Temperli camlar kırılmalara daha dayanıklıdır. Temperli camların bir diğer özelliği de kırıldıklarında küçük parçacıklara ayrılmasıdır. Bu durum iş sağlığı ve güvenliği açısından büyük önem arz etmektedir (Büyükyıldız, 2007; Eşsiz 2004).

Temper prosesinde temper kalitesini etkileyen birçok faktör vardır. Genel olarak bunlar; camın fırında kalma süresi, soğutma süresi, X/Q ve K/Q oranları ve Reynolds sayısı (Re)'dir. Oranlarda yer alan X; cam yüzeyi ile nozul arası mesafe, Q; nozul çapı, K; nozullar arası mesafeyi ifade etmektedir (Gölcü vd, 2011; Yazıcı vd, 2011; Akçay vd, 2011; Köseoğlu vd, 2011; Sekmen vd, 2011).

Temperli cam kalıcı bir iç stress durumuna getirilmiştir. Dolayısıyla cam daha dayanıklı bir yapıya kavuşmuştur. Bu nedenle camın üzerine uygulanacak kesme, delme, pah kırma gibi işlemler temper prosesi öncesi yapılmalıdır (Pourmoghaddam

vd, 2018; Schneider vd, 2018).

Gerilme dağılımı cam kalınlığına göre değişir. Cam temperleme, yüksek sıcaklıkları içerir. Bu nedenle, gerçek zamanlı ölçüm sıcaklık dağılımı, stres dağılımı ve faz değişikliklerini temperlenmiş cam içinde ölçmek zordur. Temper parametreleri doğrudan camın dayanımını etkiler. Genellikle tavlama işlemi parametreleri, deneme yanılma yöntemi ile elde edilir. Ancak cam temperlemenin, bilgisayar simülasyonları sıcaklık gradyanının dağılımı ve artık gerilme değerlendirme optimizasyonu için yapılabilir. Fakat teorik simülasyon çalışmaları çok az olmuştur (Bao-Wei vd, 2016, Ke-Qian vd, 2016, Qiang vd, 2016, Tao vd, 2016, Ning-Yi vd, 2016, Jian-Ning vd, 2016).



3. CAM

3.1 Camın Tarihsel Gelişimi

Cam, tarih boyunca çeşitli alanlarda kullanılmıştır. Antik çağlarda inşaat malzemesi, süs eşyası gibi yerlerde kullanıldığı bilinmektedir. Camın ilk kez nerede, ne zaman üretildiği bilinmemektedir. İlk cam örneği ise Firavun Amenhotep'e aittir. M. Ö. 1551-1527 yılları arasında yaşayan Amenhotep, cam bir boncuğun sahibiydi (<http://sacikders.ankara.edu.tr/modresourceview.php?id=34787>, 08 Kasım 2018).

Camın keskin ve sert özelliği nedeniyle keşfedildiği zamanlarda balta, bıçak gibi aletlerin yapımında kullanılmıştır. Mısır ve Mezopotamya'da kum bol miktarlara bulunduğu için ilk cam örneklerine bu bölgelerde rastlanmıştır. Bloklar halinde camın ilk üretimi milattan önce 3000'li yıllarındadır. Üretiminden sonra cam işleme metotları keşfedilmeye başlanmıştır. Üretimlerde günlük ihtiyaçları karşılamak için vazo, süs eşyası gibi malzemeler üretilmiştir. Cam üretimlerinde camı, demir ve tahta parçalar ile şekillendiriyorlardı. Geliştirilen üretim teknikleri sonrasında, üretimlerde kalıplar kullanılarak çukur ürünler üretilmiştir (<http://sacikders.ankara.edu.tr/modresourceview.php?id=34787>, 08 Kasım 2018).

19.Yüzyıllarda endüstri ihtilali ile başlamakta olan teknoloji alanındaki gelişmeler, bütün alanlarda olduğu gibi cam malzemede de üretim ve tasarım yöntemlerinin, kullanım alanları ile birlikte, araç ve gereç gereksinimlerinin değişiminde önemli rol oynamaktadır. Geçmişte birçok yerde karşımıza çıkan cam, gerek endüstriyel uygulamalar gerek sanatsal faaliyetlerde kullanılması nedeniyle en çok kullanılan malzemelerden biridir (Arslan, 2013). Önümüzdeki 300 yıl boyunca cam endüstrisi hızlı bir şekilde artış göstermiş ve daha sonrasında azalma göstermiştir. Mezopotamya'da M.Ö. 700 ve M.Ö. 500 zamanlarında Mısır'da tekrar artış göstermiştir. Gelecek 500 yıl boyunca Mısır, Suriye ve Doğu kıyılarındaki diğer ülkeler Akdeniz'in cam üretimi için merkez haline gelmiştir (Harmancı, 2017).

Roma İmparatorluğu döneminde cam üretimi artmış ve Avrupa'ya yayılmıştır. İlk düz cam üretimi Roma döneminde gerçekleşmiştir. Bizanslılar ve Araplar cam

retiminde Roma'nın knden sonra baı çekmiştir. İkenderiye 10. yüzyıla camcılığın merkezi olmuştur. Doğuda cam üretiminde ön plana çıkmıştır. 15. yüzyıla kadar cam üretimi am önderliğinde devam etmiştir. Venedik ise Avrupa'da X. Yüzyılın sonlarından sonra önemli bir cam üretim yeri durumuna gelmiştir (Günay ve Yılmaz, 2010).

Venedik camcılığı 16. yüzyıldan sonra bütün Avrupa'ya yayılmış, Orta ve Kuzey Avrupa'nın Antwerp, Köln, Londra gibi şehirleri ve Bohemya bölgesi önemli camcılık merkezleri haline gelmiştir. Camcılığın Avrupa'ya yayılması cam teknolojisini geliştirmiş, bilişim ve dekor tekniğı yönünden önemli gelişmeler gerçekleştirilmiştir (Günay ve Yılmaz, 2010).

Selçuklular döneminde camın Türklerde kullanılmaya balandığı tahmin edilmektedir. Orta Asya'dan Anadolu'ya göç ettikleri dönemde Selçukluların, bazı cam ürün örnekleri bilinmektedir (Megep, 2008). 16. yüzyıldan itibaren Türklerde cam sanayi büyük gelişim kazanmıştır. Türkiye'de ilk cam fabrikası 17 ubat 1934'de Cumhuriyet'in ilan edilmesinden sonra üretime balamıtır (Günay ve Yılmaz, 2010).

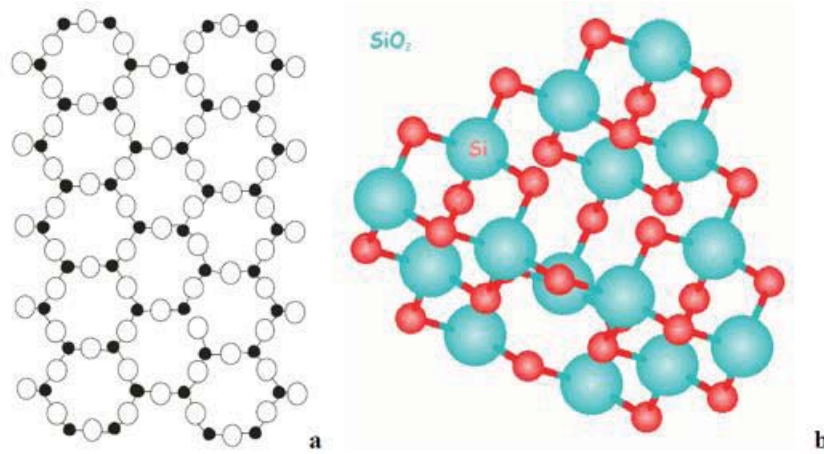
Türkiye'de cam sanayinin kuruluu 1935 – 1960 yıllardır. Bu yıllarda cam üretimi, gelişme kaydedip fabrikalara taşınmış, seri üretimine geçmiştir. II. Dünya Savaşının olması, ithalatın azalmasına neden olmuştur. Bu sayede Türkiye ie ve Cam Fabrikaları A.. ilerlemiştir. Ülkemizde artan ihtiyaçları karşılamak için küçük çaplı işletmelerin açılmasına olanak sağlamıştır (Karlıoğlu, 2007).

Cam, günümüzde ise günlük hayattaki kullanımdan, uzay teknolojisine kadar çoğu yerde karşımıza çıkmaktadır. Pencere camı, aydınlatma gereçleri, gzlk camı, çeşitli lensler, serum iesi, piirici cihazlar, set t, televizyon, telefon, ss eşyaları, küçük ev gereçleri ve ayna gibi birçok alanda ihtiyaçları karşılamaktadır (Yazar ve Aslan, 2013).

3.2 Camın Tanımı ve Camın Yapısı

Cam genel olarak sert, kırılmaya müsait, inorganik amorf yapıda bir malzeme olarak tanımlanır. Ayrıca saydam ya da yarısaydam olarak da tariflenen cam, katı bir malzemedir (<https://bilgihanem.com/camin-icadi-cam-nedir/>,08 Kasım 2018).

Cam malzemenin içyapısına bakıldığı zaman diğer katılarda olan atomların ki gibi düzgün bir kristal dizilişinin olmadığı görülmektedir. Yani bu durumu biraz incelersek; cam malzemedeki atomların dizilişi bir sıvı malzemede olduğu gibi rastgeledir (Şekil 3.1). Diğer bir ifadeyle cam malzeme sıvı olarak tanımladığımız yani çok kıvamlı olan bir camdır. Sonuç olarak bu sebeplerden dolayı camda yerçekiminden etkilenme olmaz ve aldığı şekli koruma özelliğine sahiptir (Megep,2008).



Şekil 3.1. SiO₂'nin kristal (a) ve amorf (b) yapısı (Megep, 2008).

Camın hammaddesi silis kumudur. Silis kumunun eritilmesi ve bazı maddelerin ilave edilmesi ile cam elde edilir. Alkali ve toprak alkali olan metal oksitler ve bazı metal oksitlerin yüksek sıcaklıklarda birleşmesi sonucu oluşan malzemedir. Cam, akışkan yapıda bir malzemedir. Amorf yapı camın katılaşması esnasında korunmaya devam eder. Amorf yapı, camın sağlamlık ve saydamlığını sağlar. Cam, katı maddelerin gösterdiği kristalleştirme özelliğini göstermez. Bu özelliği nedeniyle cam zaman zaman sıvı madde grubuna dahil edilir (<https://bilgihanem.com/camin-icadi-cam-nedir/>,08 Kasım 2018).

Kum, soda, kireç camı oluşturan üç ana maddedir. Bu maddeler 1500 °C'deki özel fırınlarda ergitilerek bir araya getirilir. Silis kumu, camı oluşturan ana malzemedir. Soda, camın düşük sıcaklıklarda akıcı olmasını sağlar. Kireç ise, camın kimyasal etkilere dayanımının artmasını sağlar.

Çok sayıda cam çeşidi vardır. Bütün cam çeşitlerinin içinde silikon dioksit (SiO₂) bulunmaktadır. İçerisine başka maddeler katılarak farklı cam çeşitleri elde edilmektedir. Karışımların fırınlarda yavaş ısıtılıp yavaş soğutulması istenen durumdur.

Camın belirli bir ergime noktası yoktur. Camın akıcılığını sağlayan soda, ısıtma esnasında yavaş yavaş yumuşar. 1000 °C civarında cam akışkan hale gelir. Genellikle iki çeşit cam üretilir. Normal camlar için silis, soda ve kalker karışımı kullanılır. Yumuşak, ağır ve ergime noktası düşük olan camlar kristal camlardır. Kristal camların içinde kurşun oksit bulunur. Kristal camlar genellikle ağır, parlak ve saydamdır.

Günümüzde üretilen normal ve kristal cam için karışım oranları;

Normal cam için oranlar; %72 silis, % 15 soda, % 13 kalker

Kristal cam için oranlar; % 48 silis, % 24 potast soda, % 28 kurşun oksit kullanılır.

Silisyumoksit (SiO₂) camın ana malzemesidir. Hal dilinde silis kumu ya da çakmak taşı olarak da bilinmektedir. Doğada bu maddenin bulunmasında zorluk yoktur. Bol miktarda bulunmaktadır. Camı oluşturan diğer maddeler alkali metal ve metal oksitlerdir. Soda alkali metal için kullanılan maddedir (<https://www.gokyigit.com.tr/index.php/tr/blog-1/120-cam%C4%B1n-yap%C4%B1s%C4%B1-ve-i%C3%A7eri%C4%9Fi.html>,08 Kasım 2018).

Cam üretim prosesi esnasına, ham cam karışımına bazı maddeler katılarak camın renklendirilmesi sağlanabilir. Katılan maddelerin oranları camın renginde önemli yere sahiptir. Bu renklendirme aşamasında kullanılan maddeler şunlardır:

Kobalt: Mavi renk
Magnezyum: Mor ve eflatun renkleri
Selenyum: Pembe renk
Gümüş: Sarı renk
Altın: Pembe ve kırmızı renk
Titanyum: Sarı ve kahverengi renk
Çinko, fosfat, kalay: Beyaz renk
Uranyum: Sarı renk
Antimon: Sarı renk
Bakır: Yeşil, turkuaz, kırmızı ve mavi renkleri
Krom: Sarı ve yeşil renk
Demir: Yeşil, mavi ve sarı renkleri
Nikel: Menekşe renk

(<https://www.gokyigit.com.tr/index.php/tr/blog-1/120-cam%C4%B1n-yap%C4%B1s%C4%B1-ve-i%C3%A7eri%C4%9Fi.html>,08 Kasım 2018).

3.3 Camın Özellikleri

Camın belirli bir erime sıcaklığı yoktur. Isıtıldığında şekil verilebilir. 800-1300 °C sıcaklıkları cama şekil verme işlemi yapılabilir. Cam yumuşamaya başlama sıcaklığı yaklaşık 500 °C'dir (Karaagac,2017).

3.3.1 Camın Fiziksel Özellikleri

Yoğunluk: Camların yoğunlukları 2,2 gr/cm³-3,0 gr/cm³ arasında değişmektedir. Bu değişkenliğin nedenleri camların cinsidir. Cam cinslerinin belirlenmesinde en önemli faktör camın üretimi esnasında ana bileşenlerin oranı ve cinsidir. Özel üretilen bazı cam gruplarında yoğunluk 8 gr/cm³'e kadar ulaşmaktadır (Tosun,2013).

Sertlik: Camın sertliği 6 ile 7 Mohs arasındadır. Cama, bu seviyedeki sertlik iyi derecede bir aşınma direnci verir. Bu sayede cam ürünler saydamlıklarını çizilmeler yaşansa bile uzun süre muhafaza edebilirler. Yumuşuma sıcaklığı ise 500-600 °C arasında bulunmaktadır (Tosun,2013).

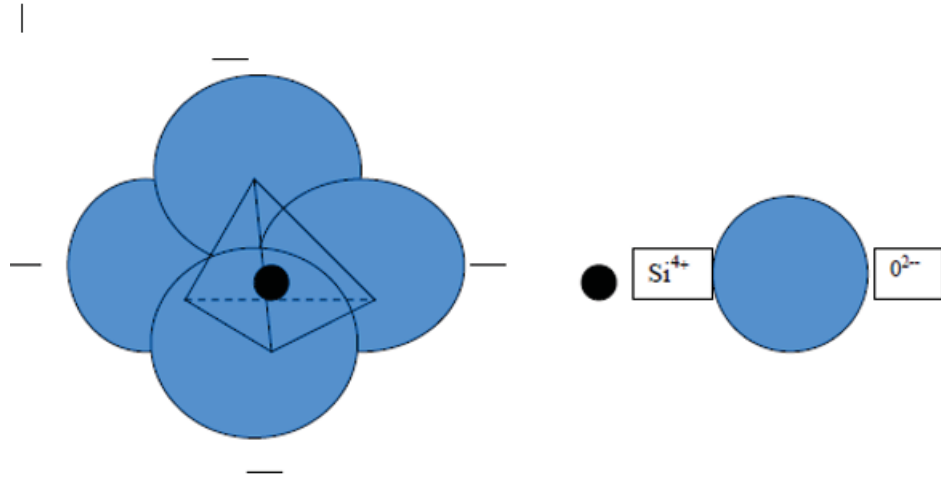
Saydamlık: Cam amorf yapıya sahip olması sayesinde iyi bir saydamlığa sahiptir (Tosun,2013).

3.3.2 Camın Kimyasal Özellikleri

Cam malzeme kimyasal olarak bakıldığında çoğu maddelere karşı dayanıklı durumdadır. Sadece hidroflorik asit ve birtakım alkalik çözeltiler (eriyikler) cam malzemeyi etkileyebilmektedir (Tosun,2013).

Hidroflorik asit malzemesi özel olarak cam malzemenin yüzeyinin işlenmesinde ve yüzeylerin matlaştırılma işleminde kullanılmaktadır. Camın içerisine kalsiyum karbonat ilave edilmemiş ise camlar, suya karşı kararlı halde olamamaktadırlar. Bu türdeki camların tanımlaması, su camı olarak yapılmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan pencere camlarında ise su ile teması gerçekleşebilecek her türdeki camların su karşısında dengeli halde olabilmeleri için bileşimlerine kirecin ilavesi zorunlu olmaktadır (Tosun, 2013).

Cam yapımında başlıca faktörler, ergimiş oksitlerin sahip olduğu viskozite ve bu viskozite ile camı oluşturan diğer maddelerin oranları arasındaki ilişkidir. Camın yapısında atomlar düzensiz bir şekilde dizilmiştir. Camlar, iyonik ve kovalent bağlar ile bağlı olan atomlardan oluşur. Bütün camlarda birim boyut mertebesinde düzen olsa bile bu düzeni devamlı koruyamamaktadır. Silisyum ve oksijen atomları tetrahedrayı silika camlarında meydana getirirler. Silisyum atomunu dört tane oksijen atomu sarar. Silisyum atomunun çevresini saran oksijen atomları iki tetrahedra tarafından ortak olarak paylaşılır. Şekil 3.2’de şematik SiO₂ ‘silika’ tetrahedra şematik görünümü görölmektedir.



Şekil 3.2. Şematik SiO₂ ‘silika’ tetrahedra görünümü (Megep, 2008).

Benzer durum, diğer cam yapıları ve B₂O₃ ‘bor oksit’ arasında da mevcuttur.

Camların, oluşturduğu elemanlar arasındaki mesafeler farklı fakat şematik görünümleri aynıdır. Cam yapılarının çoğunda çok sayıda oksit vardır. Bu oksitleri gruplayacak olursak;

➤ Cam iskeletini meydana getiren oksitler cam yapıcı SiO₂ veya silistir. Cam, sıvı yapısında fakat katı gibi davranış gösteren bir maddedir. Camın yapısını oksitler; SiO₂, B₂O₃, GeO₂, P₂O₅, As₂O₃, Sb₂O₅’dir.

➤ Cam oluşumunu kolaylaştıran oksitler; Sc₂O₃, PbO, Na₂O, La₂O₃, Rb₂O, Y₂O₃, CaO, SnO₂, Li₂O, Ga₂O₃, PbO₂, MgO, ZnO, BaO, SrO, CdO, K₂O, Na₂O ilavesi ile yukarıdaki maddeler arasında kimyasal bir reaksiyona oluşturur. Silis ve soda karışımı, silisin erime noktasından düşük bir sıcaklıkta tepkime oluşturur. Başka bir açıdan bakıldığında soda, ürünün daha kolay erimesini sağlar. Silis ise düşük sayılabilecek sıcaklıklarda ürünün akıcı bir duruma gelmesini sağlar. Soda oranı arttığında soda camlarındaki, su etkisi ile kimyasal bir şekilde etkilenmesi de artış gösterir. Buradan yola çıkarak, kolay eritilebilen ve kolay şekil verilebilen cam ürünü üretmek için, karışımda bazı düzenlemeler yapılmalıdır. Bazı ilave maddeler kullanılmalıdır.

Kireç (CaO), bilinen diğer bir ağ yapı düzenleyici maddedir. Camın kimyasal etkilere mukavemetini arttırmak için kireç ilavesi yapılır. Örnek olarak; kalan oksitler (Şartlı Cam Yapıcılar), ZnO , ZrO_2 , V_2O_5 , TiO_2 , PbO , Al_2O_3 , ThO_2 , BeO , TeO , CdO . Ağ yapısında, ana grupta yer alan bazı oksitler belli orana kadar bulunduklarında yer alabilirler. Örnek verecek olursak; Al_2O_3 (alümina) , MgO , CaO ve Al_2O_3 camında ağ yapısının oluşmasını sağlar. Al_2O , CaO , Na_2O , Al_2O , SiO_2 camında ise şebeke değişim işlemini gören oksit olarak yer alır. Bahsi geçen maddeler ağ düzenleyici ve cam yapıcı olarak görülebilir.

Cam yapısında bulunan maddeler;

- Soda
- Dolomit
- Kum
- Feldspat
- Soda

Kalker Yardımcı maddeler;

- Sodyum sülfat
- Kobalt oksit
- Cam kırığı
- Seryum konsantre
- Çinko selenit

Bu karışımlar yüksek sıcaklıktaki fırına çeşitli konveyör bantları ile gönderilir. Malzemelerin bir araya getirildiği yere harman adı verilmektedir. Camı oluşturan ana malzemeler kum ve cam kırığıdır. Bu iki malzeme camın yaklaşık %70'ini oluşturur (Megep, 2008).

3.3.3 Camın Mekanik Özellikleri

Cam malzeme özellikle mekanik olarak güçlü bir malzemedir. Silikon oksidin çoğunluğu camın sertlik ve dayanımı için belirleyici bir durumdur. Ayrıca cam malzemenin kırılabilirliği de bu çoğunlukla belirlenmektedir. Cam malzeme plastik deformasyona maruz bırakılmamaktadır. Şayet plastik deformasyon sınırı çok az da olsa aşılsa cam kırılmaktadır (Harmancı,2017).

Camların çekme dayanımları, basınç dayanımları, elastisite modülü ve Poisson oranı önemli özelliklerdir. Özelliği gereği cam malzemeler kırılabilir. Şekil değiştirmeye ve darbelere karşı dayanıklı değildir. Fakat cam malzemelerin basınç dayanımları yüksektir. Camlarda çekme ve basma dayanımları arasındaki fark yaklaşık 20 kattır. Bu özelliği camın kırılabilir olmasındandır. Camların dayanıklılığı çekme gerilmesi ile ölçülmektedir. Camın çekme dayanımı 20-90 MPa'dır. Cam malzemelerin basma dayanımı ise 500-900 MPa arasındadır. Tüm bu özelliklerin yanında camın aşınmaya karşı direnci oldukça iyidir. Elastisite modülü 45000-100000 MPa olan cam malzemenin Poisson oranı ise 0.22'dir (Tosun, 2013).

3.4 Türkiye'de Cam Sektörü

Türkiye'de cam sanayi İş Bankası'nın fabrika kurması ile başlamıştır. 3 bin ton kapasite ile kurulan Paşabahçe fabrikaları Türkiye'de kurulan ilk cam tesisi olmuştur. Cam sanayinin Türkiye'deki geçmişi 90 yıllıktır. Şuan gelişmesine devam etmektedir.1960'lı yıllardan sonra ihracata yönelik hamleler yapılmıştır. Yurt dışında önemli markalaşma adımları atılmıştır. İhracata başlamadan tek tesisle yoluna devam eden cam sanayi, ihracat hamlelerinden sonra cam, ev eşyası ve cam ambalaj alanlarında üretimlerini büyütülmüştür. İhracatın artması, iç piyasa ihtiyaçlarındaki çeşitliliğin artması ile ürün çeşitlendirme stratejisi izlenmiştir. 1960'lı yıllardan sonra dünya pazarına giriş yapılmıştır. Son yıllarda ürün çeşitliliğinin artması, teknolojik gelişmelerin yaşanması ve rekabet ortamı nedeniyle Ar-Ge merkezleri kurulmuştur. Bu sayede cam sanayinde hızlı bir şekilde büyüme sağlanmıştır. 1990'lı yıllar ülkemiz cam sanayinin en iyi dönemleridir. Türk cam sanayi bu yıllarda bölgesel liderliğe yükselmiştir. Cam üretiminde en çok kullanılan malzemeler soda, kum ve

kuvarstır. Camın hammaddesini oluşturan malzemeler ülkemizde bol miktarda bulunmaktadır. Bu kaynakların bolluğu cam sanayimiz açısından büyük önem arz etmektedir. Bu sayede %98 oranında ülkemizdeki hammadde kaynakları kullanılmaktadır.

Cam sektöründe dünyada önemli rekabet yaşanmaktadır. Bu rekabetin içerisinde yer alan Türk cam sanayi her yıl büyümesini sürdürmektedir ve performansını arttırmaktadır.

Şişecam şirketleri, Türkiye cam üretiminin yaklaşık %90'ınını karşılamaktadır. Türkiye'nin cam üretme kapasitesi yaklaşık 3,7 milyon ton/yıldır. Üretim kapasitelerine göre dünya cam üreticileri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Şişecam şirketleri, 2010 yılına kadar ülkemizde float cam üretiminde tek düz cam üreticisiydi. 2010 yılından sonra Düzce Cam Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de float hattı kurarak düz cam üretim faaliyetlerine başlamıştır. Böylece Türkiye iki float cam üreticisine sahip olmuştur. Türkiye, 1997 yılında düz cam üretiminde kullandığı eski teknolojiyi bırakmıştır. Bunun yerine dünyada uygulanan float yöntemiyle cam üretimine devam etmiştir. Dünyada hemen hemen tüm cam üreticileri (Çizelge 3.2) float üretim yöntemini kullanmaktadır. Şuan ülkemizde dünya ve Avrupa standartlarında düz cam üretimi yapılmaktadır (TOBB, 2012).

Çizelge 3.1. Üretim Kapasitelerine Göre Dünya Düz Cam Üreticileri Sıralaması (TOBB, 2012).

Sıralama	Firma	Ülke	Float Cam Üretim Kapasitesi (Milyon Ton)(*)
1	AGC	Japonya	5,8
2	Saint Gobain	Fransa	5,2
3	NSG	Japonya	4,8
4	Guardian	ABD	4,2
5	Taiwan Glass	Tayvan	1,4
6	Şişecam	Türkiye	1,3
7	China Southern	Çin	0,9
8	PPG	ABD	0,5
	Diğer		8,9
	Toplam		33,0

Çizelge 3.2. Cam Satışlarına Göre Dünya Düz Cam Üreticileri (Milyon \$)
(TOBB, 2012).

Sıralama	Firma	Ülke	2011 Düzcam Satışları (*)	2010 Düzcam Satışları
1	AGC	Japonya	11.479	11.366
2	Saint Gobain	Fransa	7.160	6.918
3	NSG	Japonya	6.905	6.575
4	Guardian	ABD	5.062	4.928
5	Samsung Corning	Kore	4.802	4.856
6	Corning	ABD	3.066	3.011
7	NEG	Japonya	2.886	2.925
8	Fuyao	Çin	1.464	1.257
9	China Southern	Çin	1.392	1.144
10	Xinyi	Çin	1.359	967
11	PGW	ABD	1.128	956
12	PPG	ABD	980	985
13	Farun	Çin	930	933
14	Taiwan Glass	Tayvan	860	875
15	CGC	Japonya	788	804
16	Şişecam	Türkiye	751	720
17	China Glass Holdings	Çin	478	466
18	SYP	Çin	372	397
19	Jinjing	Çin	320	333
20	Kibing	Çin	298	281
21	Float	Almanya	258	243
22	Centrosolar Glas	Almanya	90	102

4. DÜZ CAMLARIN TEMPERLENMESİ

Camın temper prosesi, camın yaklaşık 700 °C'ye kadar ısıtıp, yüksek basınçlı hava ile aniden soğutulması esasına dayanır. 700 °C camın yaklaşık yumuşama sıcaklığıdır. Temper prosesinden sonra camın dış yüzeylerinde basma gerilimi iç yüzeyinde çekme gerilimi meydana gelir. Temper prosesinde önemli olan noktalardan birisi de cam yüzeyinde herhangi bir düzensiz alan olmayacak olmasıdır. Eğer cam yüzeyinde keskin alan, çapak, kırık var ise cam aniden soğuma esnasında patlar.

Temperli camlar tempersiz camlara göre yaklaşık 5 kat fazla dayanıklıdır. Cama temper prosesinden sonra stres yüklemiş olduğumuzda, herhangi bir darbeye patlayarak küçük parçacıklara ayrılır. Bu sayede insanlara zarar vermez (http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/9b2c13d2773d7dc_ek.pdf,08 Kasım 2018).

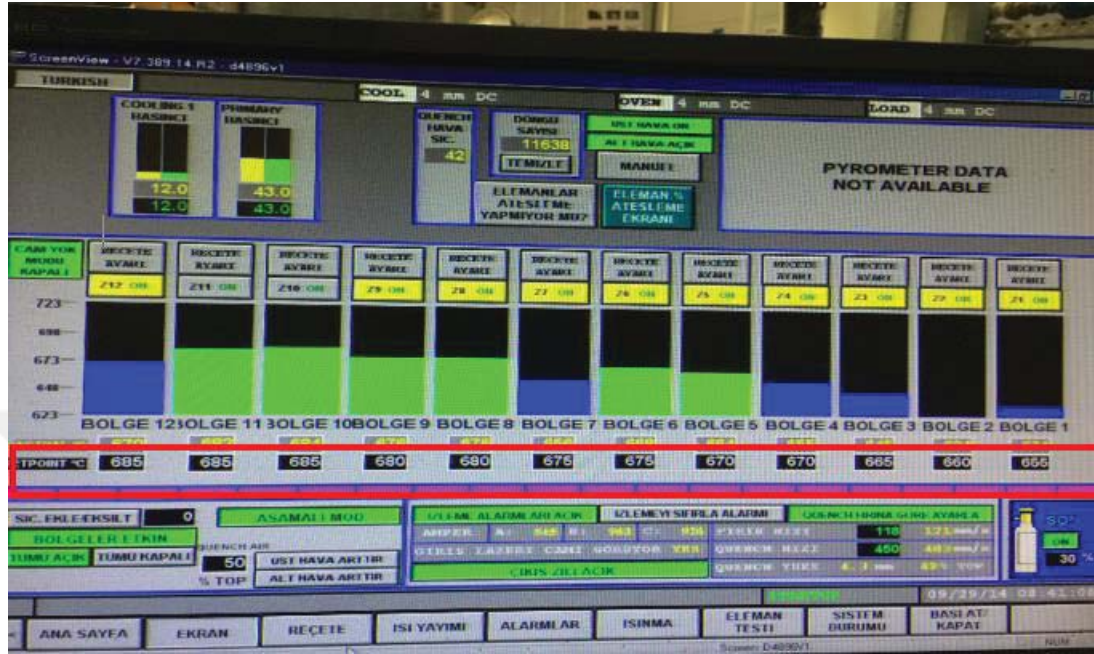
4.1 Temper Prosesi

Temper prosesi temelinde iki ana konuyu barındırır. Camı şekil alma sıcaklığından yüksek (567 °C), yumuşama sıcaklığından düşük (710 °C) sıcaklığa kadar ısıtıp kontrollü olarak soğutma işlemlerini içerir (Yorsan Temper El Kitabı, 2012).

4.2 Temper Fırını

Camın şekil alma sıcaklığından yüksek (567 °C), yumuşama sıcaklığından düşük (710 °C) sıcaklığa kadar ısıtıldığı bölümdür. Cam fırın içerisindeki seramik merdaneler üzerinde hareket eder. Fırında camın ilerleme hızı, cam cinsine cam kalınlığına, fırın doluluk oranlarına göre değişiklik gösterebilir. 4 mm düz camlar için fırın hızı 100 mm/s ile 115 mm/s arasında değişmektedir. Fırın, rezistanslardan gelen enerji ile ısınır. Fırın sıcaklıkları fırın kontrol ekranına (Şekil 4.1) temper operatörü tarafından camın kalınlığı, hava sıcaklığı gibi parametreler göz önüne alınarak girilir. Burada dikkat edilmesi gereken konu bölge sıcaklıklarının artarak ayarlanmasıdır. Bunun nedeni de; camın aniden yüksek ısıya maruz kalmasını önleyerek, daha yavaş

ısınımasını sağlamak ve bu sayede oluşabilecek şekil bozukluklarının önüne geçmektir. Bir diğer etken ise, fırına nazaran daha düşük sıcaklıkta olan camın ısıtılması için daha az enerji harcamaktır.



Şekil 4.1. Temper Fırın Kontrol Ekranı

Bölge sıcaklıkları genellikle 650-700°C arasında ayarlanır.

Örneğin;

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
655	660	665	670	670	675	675	680	680	685	685	685

Kırmızı bölge içerisinde belirtilen setpoint bizim fırında olmasını istediğimiz sıcaklıklardır. Actual point ise fırında olan mevcut sıcaklıktır.

Şekil 4.2'de camların fırında ısıtılma görünümü, Şekil 4.3'de ise fırın genel görünümü verilmiştir.



Şekil 4.2. Temper Fırınında Camların Isıtılması Görünümü.



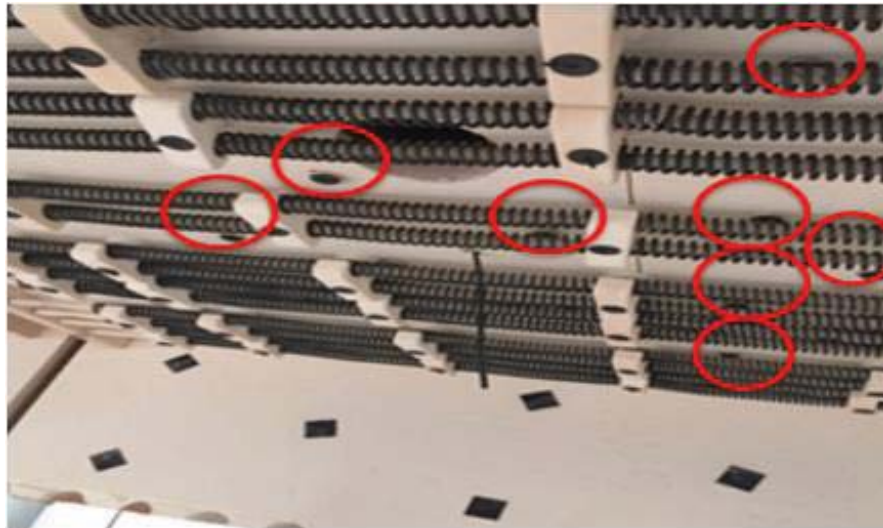
Şekil 4.3. Temper Fırını Görünümü.

4.2.1 Air Convection Sistemi

Temper işlemi esnasında fırın içerisindeki ısının cam yüzeylerine homojen yayılmasını sağlayan air convection sistemi bulunur. Fırında toplam 3 adet air convection vardır. Air convectionlar 5 adet dikey boru (Şekil 4.4) yardımıyla alttan ve üstten (Şekil 4.5) basınçlı hava püskürterek fırınlar içerisindeki ısının cam yüzeyine eşit şekilde dağılmasını sağlar. Uygulanan basınçlı hava oranları alt ve üstten % olarak ayarlanabilmektedir.



Şekil 4.4. Fırın Alt Air Convection Sistemi.



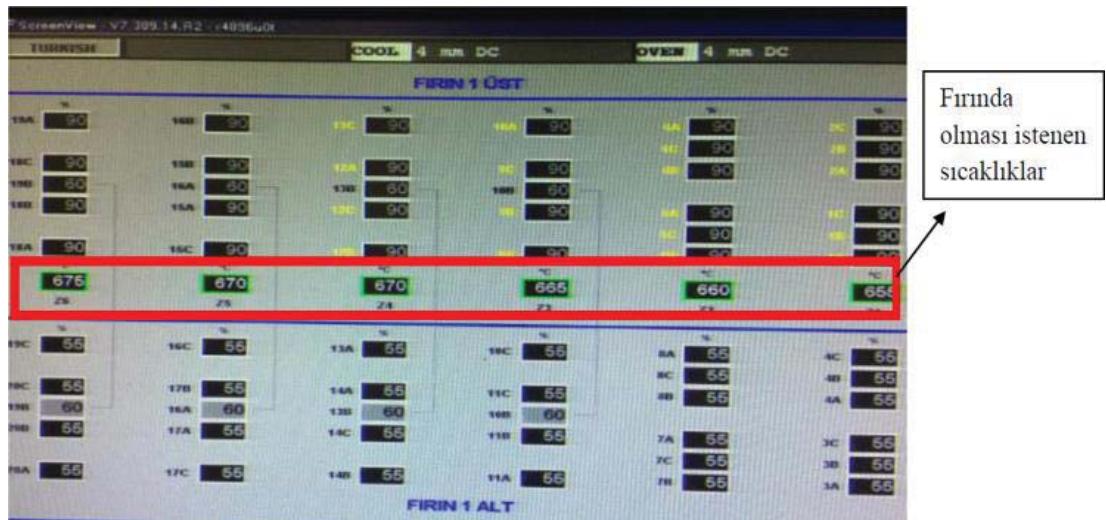
Şekil 4.5. Fırın Üst Air Convection Sistemi.

4.2.2 Rezistanslar

Elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştüren malzemelere rezistans adı verilir (Şekil 4.6). Diğer bir adı da direnç telleridir. Direnç telleri yüksek ısıya direnç gösterebilir. İçlerinde alüminyum, krom ve demir bulunmaktadır. Ayrıca rezistanslar karşı direnci elektrik akımına da gösterir. Dirençlerin sembolü “R” veya “r” harfleridir (http://www.isitürkrezistans.com/rezistans_nedir.php, 30 Aralık 2018). Fırın kontrol ekranında rezistans ayar bölümü Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Rezistans Görünümü.



Şekil 4.7. Fırın Kontrol Ekranı Rezistans Ayar Bölümü Görünümü.

4.2.3 Seramik Merdaneler

Fırın içerisinde üzerinde camın hareket ettiği seramik merdaneler bulunur (Şekil 4.8). Yüksek sıcaklıklarda camın ısınması için belirli hızlarda camın fırın içindeki hareketini sağlar. Toplamda 177 adettir. Fırınlarda kullanılan merdaneler yivli seramik merdane ve yivsiz seramik merdane olmak üzere iki çeşittir.



Şekil 4.8. Seramik Merdanelerin Fırın İçindeki Görünümü.

4.2.3.1 Düz Seramik Merdaneler

Fırın içerisinde kullanılan, üzerinde herhangi bir çıkıntı, yiv olmayan merdanelerdir (Şekil 4.9). Yüksek sıcaklıklarda camın ısınması için belirli hızlarda camın fırın içindeki hareketini sağlar.



Şekil 4.9. Düz Seramik Merdanelerin Fırın İçindeki Görünümü.

4.2.3.2 Yivli Seramik Merdaneler

Fırın girişindeki ilk 60 merdane yivlidir (Şekil 4.10). Yivli merdane kullanma amacı; camın aniden yüksek sıcaklığa maruz kaldığında oluşabilecek şekil bozukluklarının önüne geçmek ve camın aniden ısıtılmasıyla merdane yüzeyine iz bırakmasının önlenmesidir.



Şekil 4.10. Yivli Seramik Merdanelerin Fırın İçindeki Görünümü.

4.3 Quench

Temper prosesinin en önemli adımıdır. Temper işlemi bu bölümde meydana gelir. Fırından yaklaşık 625 °C'de çıkan cama aniden yüksek basınçlı hava verildiği

yerdir. Operatör ekranından quench hava basıncı ayarlanabilir. Quench fan motoru 315 Kw'dır (Şekil 4.11). Girilen basınç değeri fan motorunun devrini arttıran veya azaltan hz değeridir. Quench hava basıncı 0-50 Hz arasında değişmektedir. Quenchte girilen değerler temper reçetelerinin belirlenmesindeki dominant değerlerdir. Quenchteki önemli diğer bir parametre ise quench yüksekliğidir. 4mm düz camlarda genellikle 8 mm seçilir. Fakat bu değerler operatörlerin tecrübeleriyle edinildiği için net değer söylemek mümkün değildir. Bir diğer parametrede quench hızıdır. Quench hızı fırın hızının yaklaşık 4 katıdır. Quench hız değeri fırın hızı baz alınarak sistem tarafından otomatik hesaplanmaktadır. Kamburluk ve securit değerlerini etkileyen en önemli etken quench hava basıncıdır. Quench bölümü genel görünümü Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

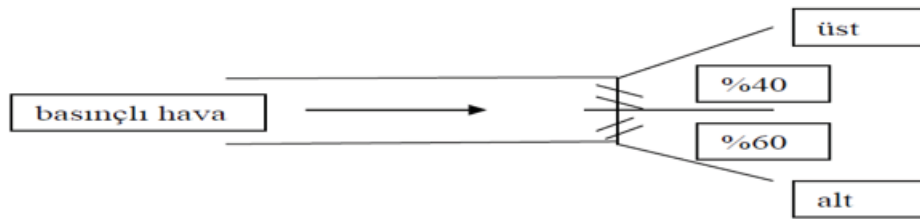


Şekil 4.11. Quench Fan Motoru Görünümü.



Şekil 4.12. Quench Bölümü Görünümü.

Quenchte basınçlı hava alt ve üst kısımlardan nozullar (Şekil 4.14) yardımıyla üflenir. Genellikle alt hava basıncı daha fazla verilir. Hava oranları cam cinsi, hava koşulları, fırın üretim kompozisyonuna göre değişiklik gösterebilir. Örnek;



Şekil 4.13. Quench Nozulları Örnek Hava Üfleme Görünümü.

Quench nozulları örnek hava üfleme Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Şekil 4.15’de ise fırın ve quench arasındaki cam geçişi görülmektedir.



Şekil 4.14. Quench Nozulları Görünümü.



Şekil 4.15. Fırın Quench Arası Cam Geçiş Görünümü.

4.4 Cooling

Camın quench bölümünde temperlendikten sonra basınçlı hava ile alttan ve üstten soğutulduğu bölümdür. Hava basıncı operatör tarafından bilgisayardan manuel olarak ayarlanır. Cooling fan motoru 132 Kw'dır (Şekil 4.16). Quench bölümünde olduğu gibi fan motorunun çalışma Hz değeri girilir. Bu değer 10-15 Hz arasındadır. Kamburluk ve sekurit değerlerine etkisi azdır. Cooling hava nozul mesafesi sabittir.



Şekil 4.16. Cooling Fan Motoru Görünümü.

Cooling bölümü genel gösterimi Şekil 4.17'deki gibidir.



Şekil 4.17. Cooling Bölümü Görünümü.

4.5 Temper Prosesinde Karşılaşılan Hatalar

Temper prosesinde ısıtma ve soğutma işlemleri esnasında camlarda çeşitli hatalar meydana gelmektedir. Kamburluk, batma ve sekurit değerinin tutmaması bunlardan en önemlileridir.

4.5.1 Kamburluk

Kamburluk, camın kulaklarının içe veya dışa doğru kambur olmasıdır (Şekil 4.18). Kamburluk içe ve dışa olmak üzere iki şekilde meydana gelebilir.

Dışa kamburluğa;

- Fırın üst sıcaklığı yüksek veya alt sıcaklığı düşük,
- Quench üst hava basıncı az veya alt hava basıncı fazla,

İçe kamburluğa;

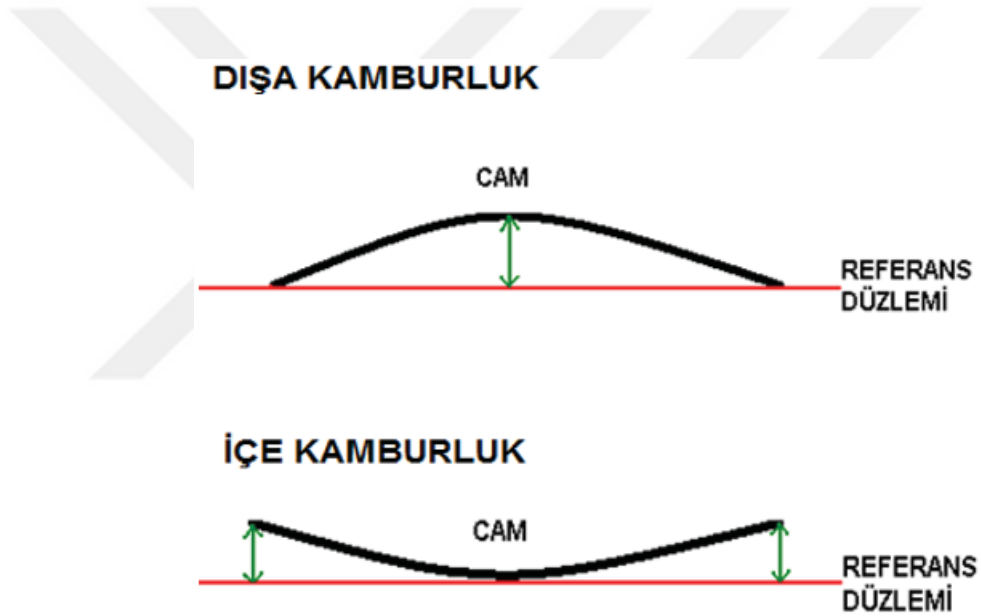
-Fırın alt sıcaklığı yüksek veya üst sıcaklığı düşük,

-Quench alt hava basıncı az veya üst hava basıncı fazla,

gibi durumlarda kamburluk meydana gelebilir.

Ayrıca; quenchteki merdanelerin sıcaklığın etkisiyle sarkması ve merdane seviyelerinin aynı olmaması durumlarında da kamburluk meydana gelebilir.

Kamburluk toleranslarını müşteriler belirler. Toleranslar genellikle 1 mm veya uzun kenar ölçüsünün %2 si kadardır. Kamburluk operatörler tarafından filler çakısı ile ölçülür (Şekil 4.19).



Şekil 4.18. Kamburluk Çeşitleri.



Şekil 4.19. Kamburluk Ölçüm Görünümü.

4.5.2 Merdane Batması

Fırın içerisinde bulunan seramik merdanelerin üzerinde bulunan pislik, partikül, kırılan cam parçasının merdane yüzeylerinde kalması sonucu ortaya çıkan kalitesel sorundur.

4.5.3 Sekurit Test Değerinin Tutmaması

Temperlenen camların güvenlik nedeniyle istenilen tane sayısı tespit etmek için uygulanan testtir.

Testin Uygulanması:

- 1-Test yapılacak numune cam alınır.
- 2-Camın parçalarının dağılmaması için etrafı streç/bant/naylon ile kapatılır.
- 3-Cam sekurit test masasının üzerine konur.



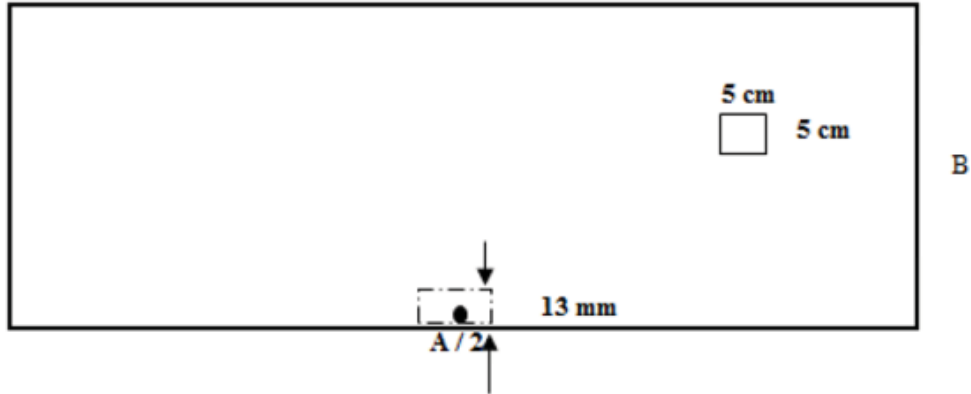
Şekil 4.20. Sekurit Test Camı.

Şekil 4.20’de sekurit test adımları, Şekil 4.21’de ise sekurit testi uygulama görünümü gösterilmiştir.

4-Camın uzun kenarından birinin orta noktasından 13 mm içeride olacak şekilde sekurit çekici yardımıyla kırılır.

5-Cam kırıldıktan sonra 5 dk beklenir. En büyük parçaların ve en küçük parçaların bulunduğu bölgenin yaklaşık ortasına rastlayan 50 mm × 50 mm ölçülerinde bir kare, ilgili şablon kullanılarak kalemle çizilir. Kare içerisinde kalan tanecikler işaretlenerek sayılır Şablonun hem iç hem de dışında kalan parçalar ½ (yarım) adet olarak sayılır.

6-Çizilen bölgenin kenarlardan ve varsa deliklerden 13 mm uzak olması gerekir.



Şekil 4.21. Sekurit Testi Uygulama Görünümü

7-İstenen tanecik sayıları müşteriler tarafından belirlenir.

8-Müşteri bazlı sekurit değerleri uygun ise temper prosesine onay verilir.

Sekurit istenen değer dışında ise proses durdurulur.

Sekurit değerlerinin istenilen sayıda çıkmaması;

- Fırın hızı yüksek olursa sekurit değerleri düşük,
- Fırın hızı düşük olursa sekurit değerleri büyük,
- Quench basıncı az ise sekurit değerleri düşük çıkar.

Bu durumlarda operatör, diğer parametreler (quench basıncı, fırın hızı...) ile dengeli olacak şekilde uygun değerleri girmelidir.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1 Materyal

Materyal olarak temper makinası üzerine çalışma yapılacaktır. Temper fırınının teknik ve proses özellikleri incelenmiştir. Materyal kısmında çalışma yapılacak makine anlatılmaktadır. Makinenin özellikleri, çalışma prensibi, makinenin parçaları, makinenin çıktısı olan ürünlerin hizmet ettiği sektörlerle değinilmiştir. Ürünler tanıtıldıktan sonra özellikle makinanın çalışma prensibi üzerinde durulmuştur.



Şekil 5.1. Fırın Ön Kapak Camı

Şekil 5.1’de beyaz eşya sektöründe kullanılan fırın ön kapak camı görülmektedir. Fırın görsel olarak en dikkat çeken kısmıdır. Ürünler genellikle 2 delikli olarak üretilir. Renkler ürün tasarımına göre değişmektedir. Siyah, beyaz ve metalik renkleri sektörde yaygın olarak kullanılır. Büyük çoğunluğunda müşteri logoları fırının ön kapak camında yer almaktadır.

Fırın, camın ısıtıldığı kısımdır. Fırın içerisinde camın ısıtılması ve temperlenmesi için çeşitli ekipmanlara ihtiyaç vardır. Bu ekipmanlar; rezistanslar, thermocouple ve seramik merdanelerdir. Camın fırın içerisindeki hızı da temper prosesinde önemli bir yere sahiptir.

Rezistanslar; elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştüren ekipmanlardır. Fırında 12 bölgeden oluşan ısınma bölümü vardır. Alt ve üst bölgelerden oluşan bu ısınma bölümlerinden her biri rezistanslardan oluşur. Bazıları üst ve altta kalacak şekilde ikiye bölünmüştür. Şekil 5.2’de fırının farklı ısınma bölgelerini gösterilmektedir. Rezistanslar bu haritaya göre fırın içine yerleştirilmektedir. Çizelge 5.1’de ise fırın rezistans tablosu yer almaktadır.

ÜST ELEMANLAR											
2C	6A	10A	13C	16B	19A	21C	23A	25B	27C	28A	29B
2B	6C	9C	12A	15B	18C						
2A	6B	10B	13B	16A	19B	21B	23C	25A	27B	28C	29A
1C	5A	9A	12C	15A	18B						
1B	5C	9B	12B	15C	18A	21A	23B	25C	27A	28B	29C
1A	5B										
Bolge-1	Bolge-2	Bolge-3	Bolge-4	Bolge-5	Bolge-6	Bolge-7	Bolge-8	Bolge-9	Bolge-10	Bolge-11	Bolge-12
ALT ELEMANLAR											
4C	8A	10C	13A	16C	19C	22C	24A	26B	27C	28A	29B
4B	8C	11C	14A	17B	20C						
4A	8B	10B	13B	16A	19B	22B	24C	26A	27B	28C	29A
3C	7A	11B	14C	17A	20B						
3B	7C	11A	14B	17C	20A	22A	24B	26C	27A	28B	29C
3A	7B										

Şekil 5.2. Fırın Rezistans Yerleşimi

Çizelge 5.1. Fırın Rezistans Tablosu

Isıtma Elemanı	Volt (V)	Akım (A)	Güç (KW)	Tür
1A/B/C---4A/B/C	220	62,2	13,7	a
5A/B/C---8A/B/C	220	59,2	13,0	a
9A/B/C---10A/C---11A/B/C	220	69,7	15,3	b
10B2 u/b	110	69,7	7,7	b
12A/B/C---13A/C---14A/B/C	220	61	13,4	b
13B2 u/b	110	61	6,7	b
15A/B/C---16B/C---17A/B/C	220	52,4	11,5	b
16A2 u/b	110	52,4	5,8	b
18A/B/C---19A/C---20A/B/C	220	45,6	10,0	b
19B2 u/b	110	45,6	5,0	b
21A/B/C---22A/B/C	220	57,9	12,7	a
23A/B/C---24A/B/C	220	50,1	11,0	a
25A/B/C---26A/B/C	220	39,7	8,7	a
27A/B/C u/b	110	63,9	7,0	c
28A/B/C u/b---29A/B/C u/b	110	55,3	6,1	c

Bir sıcaklık sensörü olan termocupl, iki farklı iletken malzemeden oluşmaktadır. Termokupl uçları birleştirilir ve ısıtılırsa uçlarından gerilim elde edilir. Malzemenin birleşim noktasının ısınma miktarına ve cinsine göre gerilim değeri farklılık gösterebilmektedir. Sıcaklık ile bu gerilim değeri hesaplanır. Fırında K tipi termokupl kullanılmaktadır. K tipi termokupl 0°C ile 1200 °C arasında ölçüm yapabilmektedir. Bu sıcaklık sensörü sayesinde fırında bulunan 12 bölgenin sıcaklıkları kontrol edilmektedir.

Fırın içerisinde bulunan bir diğer malzeme seramik merdanelerdir. Camın fırın içerisindeki hareketini sağlarlar. Seramik merdanelerinin boyu 160 cm, çapı 50 mm'dir. Seramik merdaneler 1200 °C'ye dayanabilmektedir.

Fırında camın ilerleme hızı, cam cinsine, cam kalınlığına, fırın doluluk oranlarına göre değişiklik gösterebilir. 4 mm düz camlar için fırın hızı 100 mm/s ile 115 mm/s arasında değişmektedir. Fırın, rezistanslardan gelen enerji ile ısınır. Fırın sıcaklıkları bilgisayardan temper operatörü tarafından camın kalınlığı, hava sıcaklığı gibi parametreler göz önüne alınarak girilir.

Quench bölümü, temper prosesinin en önemli adımıdır. Temper işlemi bu bölümde meydana gelir. Cama aniden yüksek basınçlı hava verildiği yerdir.

- Quench fan motoru: 315 Kw
- Quench fan motor devri: 0-50 Hz arasında değişmektedir.
- Quench yüksekliği: 4mm düz camlarda genellikle 8 mm seçilir.
- Quench nozul çapı : 4mm

Cooling bölümü, camın quench bölümünde temperlendikten sonra basınçlı hava ile alttan ve üstten soğutulduğu bölümdür.

- Cooling fan motoru: 132 Kw
- Cooling fan motor devri: 10-15 Hz arasındadır.
- Cooling yüksekliği: Sabit değerdir.
- Cooling nozul çapı: 4mm

5.2 Yöntem

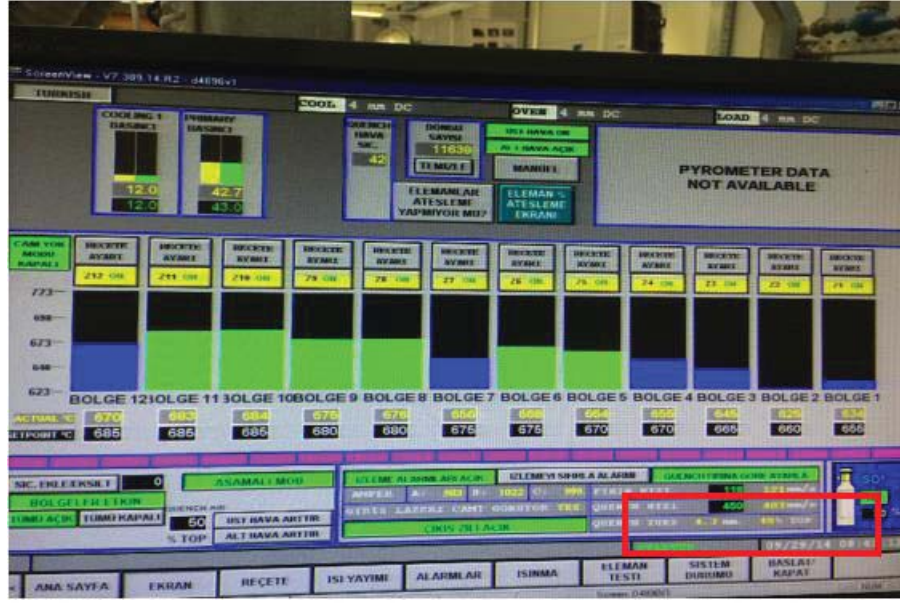
Bu çalışmada beyaz eşya endüstrisinde kullanılan düz camların temper parametrelerinin optimizasyonu üzerine çalışılmıştır. Düz camların temper optimizasyon çalışması, farklı çeşitte baskılardaki camların temper çıkış sıcaklıkları, quench yüksekliği, fırın hızı ve kamburluk değerleri kullanılarak yapılmıştır. MINITAB programı verilerin analizinde kullanılmıştır.

Fırından camların 567 °C ile 710 °C sıcaklıkları arasında çıkması gerekmektedir. Termal kamera ile fırından çıkan camların sıcaklıkları ölçülmüştür (Şekil 5.3). Ölçümler 48 adet camdan alınmıştır.



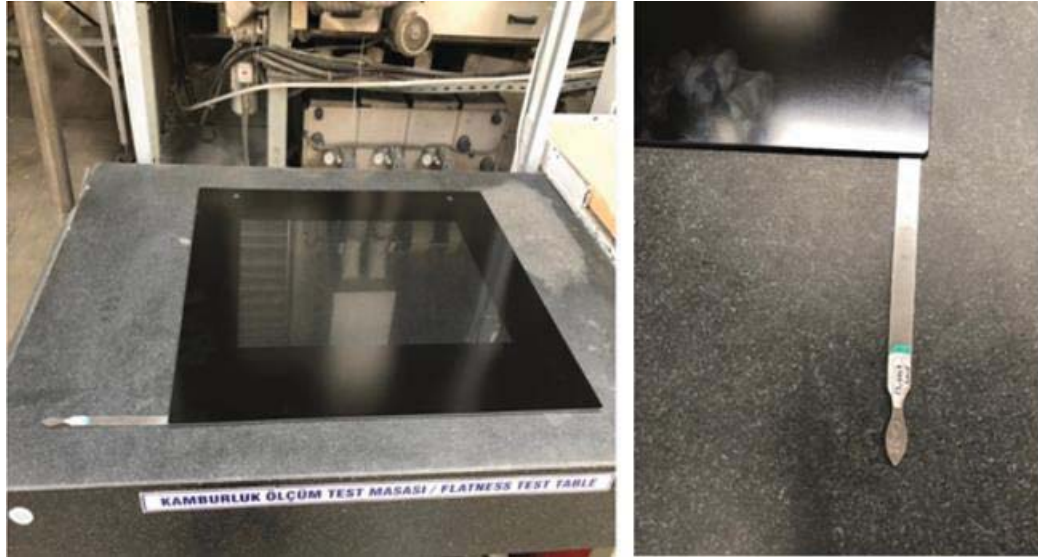
Şekil 5.3. Termal Kamera Isı Ölçüm Ekranı

Fırın hızı ve quench hızı fırın kontrol ekranından okunmaktadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Fırın Kontrol Ekranı

Kamburluk temper çıkışında kamburluk ölçüm masasında filler çakısı ile ölçülmektedir (Şekil 5.5). Kamburluğun 1 mm olması istenmektedir.



Şekil 5.5. Kamburluk Ölçüm Görünümü

Çizelge 5.2. Veri Ölçümleri Tablosu

ÖLÇÜM NO	SICAKLIK (°C)	QUENCH YÜKSEKLİĞİ (mm)	FIRIN HIZI (mm/s)	KAMBURLUK (mm)
1	623	8,4	105	0,674
2	623	8,4	106	0,665
3	623	8,4	107	0,661
4	623	9,2	105	0,694
5	623	9,2	106	0,682
6	623	9,2	107	0,676
7	623	10	105	0,709
8	623	10	106	0,703
9	623	10	107	0,693
10	623	10,8	105	0,722
11	623	10,8	106	0,718
12	623	10,8	107	0,701
13	631	8,4	105	0,693
14	631	8,4	106	0,689
15	631	8,4	107	0,678
16	631	9,2	105	0,705
17	631	9,2	106	0,698
18	631	9,2	107	0,691
19	631	10	105	0,721
20	631	10	106	0,709
21	631	10	107	0,702
22	631	10,8	105	0,729
23	631	10,8	106	0,724
24	631	10,8	107	0,715
25	639	8,4	105	0,748
26	639	8,4	106	0,739
27	639	8,4	107	0,732
28	639	9,2	105	0,751
29	639	9,2	106	0,745
30	639	9,2	107	0,738
31	639	10	105	0,768
32	639	10	106	0,756
33	639	10	107	0,749
34	639	10,8	105	0,775
35	639	10,8	106	0,77
36	639	10,8	107	0,762
37	647	8,4	105	0,784
38	647	8,4	106	0,779
39	647	8,4	107	0,775
40	647	9,2	105	0,803
41	647	9,2	106	0,794
42	647	9,2	107	0,786
43	647	10	105	0,823
44	647	10	106	0,817
45	647	10	107	0,812
46	647	10,8	105	0,841
47	647	10,8	106	0,832
48	647	10,8	107	0,829

Çizelge 5.2’de veri ölçüm tablosunda görüldüğü gibi 48 adet camda ölçüm yapılmıştır. Kamburluk istenen tolerans içinde olmalıdır. Alınan data lar Minitab programında analiz edildi.

Kamburluk, fırından çıkan camın sıcaklığı, quench yüksekliği ve fırın hızının birbirleriyle ilişkileri analiz edilmiştir. Ürün üzerindeki baskı türü dikkate alınmamıştır. Analiz için genel regresyon analizi kullanılmıştır. Birden fazla değişken olduğu için çoklu regresyon modeli analizde kullanılmıştır.

5.2.1 Genel Regresyon Analizi

İki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek için genel regresyon analizi kullanılabilir. Ayrıca analiz sonucunda girdi parametreler ve çıktı parametre arasında ilişki yorumlanabilir. Öngörüler yapılabilir.

Analiz sonucunda;

$$\text{KAMBURLUK (mm)} = -1,752 + 0,04906 \text{ SICAKLIK (}^{\circ}\text{C)} + 0,01773 \text{ QUENCH YÜKSEKLİĞİ (mm)} - 0,0750 \text{ FIRIN HIZI (mm/s)}$$

Formülü elde edilmiştir. Burada verilerin aralarındaki ilişki değerlendirilmiştir. Bu formül ile istenilen kamburluk değerinin elde edilmesi için çalışılacak parametreler belirlenebilir. Dolayısıyla optimum değerler hesaplanabilir. Genel regresyon analiz tablosu Çizelge 5.3’deki gibidir.

Çizelge 5.3. Genel Regresyon Analizi Tablosu

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-1,752	0,258	-6,79	0	
SICAKLIK (°C)	0,00490 6	0,000194	25,25	0	1
QUENCH YÜKSEKLİĞİ (mm)	0,01773	0,00194	9,12	0	1
FIRIN HIZI (mm/s)	- 0,00750	0,00213	-3,52	0	1

Genel regresyon analizinde en önemli faktörlerden birisi P-Value değeridir. P değeri, istatistiksel anlamlı farkı ifade etmektedir. İstatistikçi Fisher tarafından bu hatanın kabul edilebilir düzeyi 0,05 olarak belirlenmiş ve kabul görmüştür. P değeri eğer 0,05'in altında ise değişkenler arasında anlamlı bir fark vardır (<http://www.p005.net/pdegerinedir>, 10 Temmuz 2019).

P değeri;

0,01 – 0,05 arası: Anlamlı fark var

0,001 – 0,1 arası: Büyük oranda anlamlı fark var

0,01'den küçük ise: Çok büyük oranda anlamlı fark var

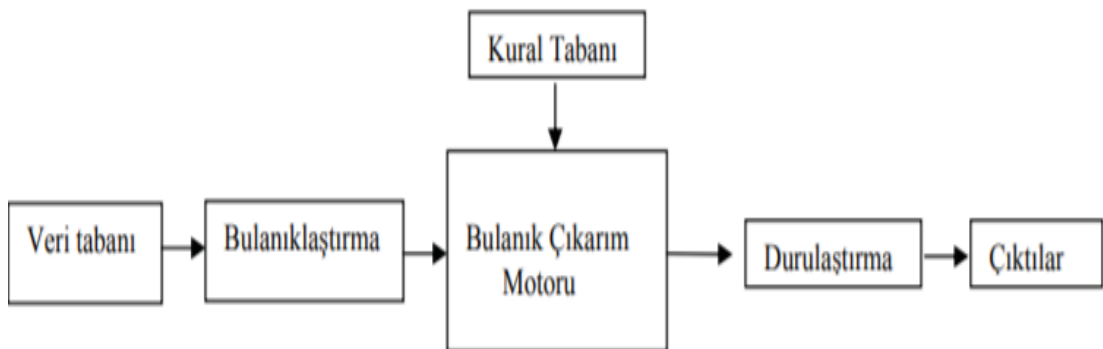
0,10 – 0,05 arası: Sınırlı anlamlılık var

Yaptığımız çalışmada P değeri 0,01'den küçük olduğu için çok büyük oranda anlamlı fark vardır.

5.2.2 Bulanık Mantık

İlk olarak L tf  Aliasker Zade'nin 1965 yılında ilk yayınladığı makalede oluşmuş mantık yapısıdır. Bulanık kümelerin geleneksel kümelerden farklı olduğu, ‘‘Fuzzy Sets’’ makalesinde açıklamıştır. Temelleri 1965’li yıllarda atılan mantık, 1970’li yılların sonlarında kullanılmaya başlanılmıştır. Japonlar, bulanık mantığı 1980’li yıllarda kullanmaya başlayınca mantığın kullanımı genişlemiş ve günümüze kadar gelmiştir. Günümüzde hemen hemen her alanda bulanık mantık ile yapılan uygulamalara rastlamak mümkündür (<https://www.muhendisbeyinler.net/yapay-zeka-ve-bulanik-mantik-nedir/>, 07 Temmuz 2019).

Bulanık mantık sistemi yapısı (şekil 5.6) insan aklı gibi düşünmeyi baz alarak, verileri matematiksel fonksiyonlara  eviren mantıktır. Matematiksel bir disiplin olması bulanık mantığın en büyük özelliğidir. Bulanık mantık da Klasik(Aristo) mantığı yerine, matematiksel ifadeler yer almaktadır. Matlab programı bunu en somut örneğidir. Bulanık mantık Klasik (Aristo) mantığını kullanmaz. Aristo mantığında bir olay veya olgu ya vardır ya yoktur. Bu durumda var/yok, 1/0, evet/hayır gibi durumlar ile ifade edilmektedir. Fakat bulanık mantık da bu değerlerin arasında değerler de olabilir. Örneğin; 1 ve 0 arasında 0.6/0.1 gibi ara değerler olabilir. Ya da az, çok, biraz gibi ara değerler kullanılabilir.



şekil 5.6. Bulanık Mantık Sisteminin Yapısı (Demir, Gencoğlu, & Güler, 2004).

Bulanık küme, bulanık sistemlerin önemli temel taşıdır. Sözel ifadeleri matematiksel model oluşturmak için bilgisayara aktarmanın yoludur. Klasik mantıkdaki bir kümede bir eleman ya kümenin içindedir ya da dışındadır. Bu durumda 1 veya 0 ile ifade edilebilir. Fakat bulanık mantık da küme içindeki bir eleman 1 ile 0 arasında bir değere sahip olabilmektedir.

Veri tabanı: Problemlere ilişkin giriş değişkenlerini ve bu değişkenlerle ilişkili bütün verileri kapsar. Veriler nitel yada niceldir. Bulanık mantık sisteminin düzgün bir şekilde çalışması öncelikle bu birimin sağlıklı bir şekilde işlemesiyle sağlanır.

Bulanıklaştırma birimi: Veri tabanı biriminden gelen dataların çıkarım motorunda işlenebilmesi için dönüşüm işlemine tabi tutulduğu birimdir. Çıkarım motoru kesin verilerin bulanık verilere çevrilmesi ile çalışır bu yüzden giriş üyelik fonksiyonları bu birimde çalıştırılır.

Bulanık kural tabanı: Eğer (If) – o halde (them) şeklindeki temsil edilen şartlar ile and (ve) ya da or (veya) bağlaçlarının birlikte kullanılması ile oluşturulan kurallardan oluşur. Her bir kural bulanıklaştırılmış giriş verisi ile bulanıklaştırılmış çıkış verisi arasında anlamlı bir ilişki kurulmasını sağlar. Kural sayısı sistemin karmaşıklığı ile doğru orantılı olarak değişir.

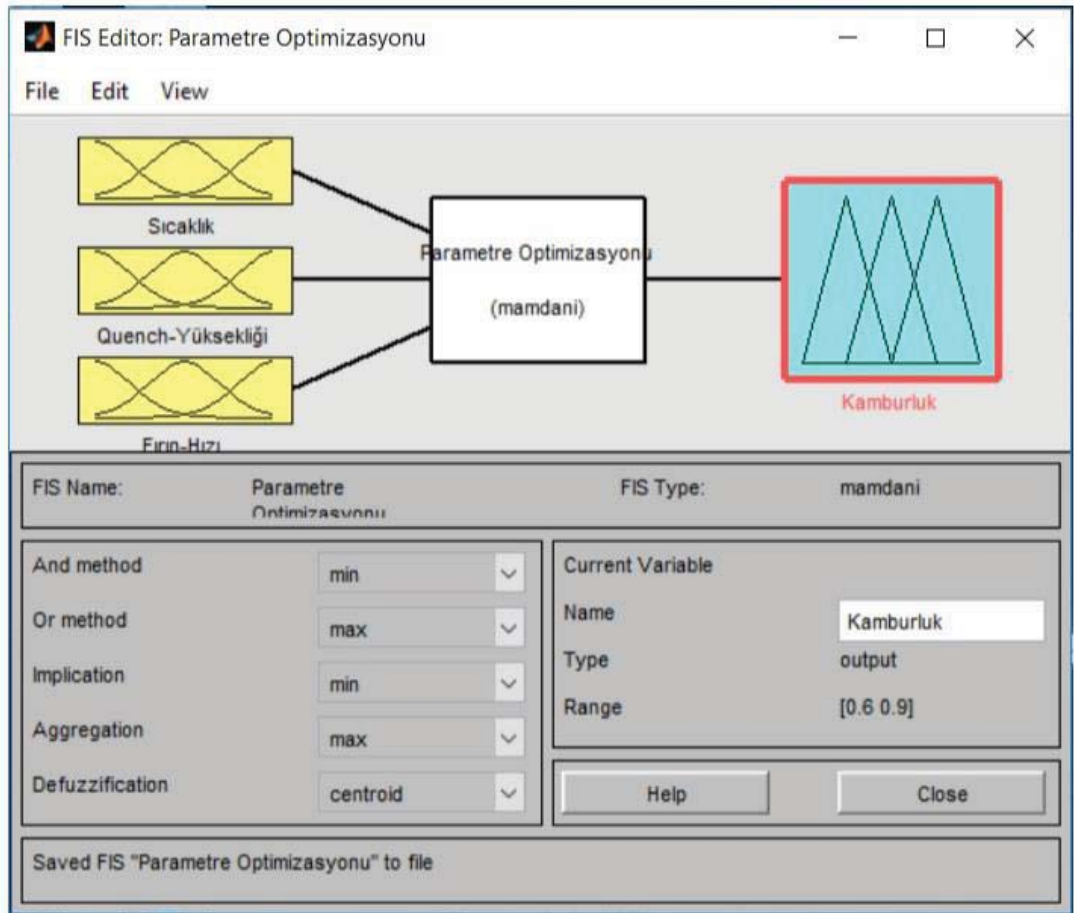
Bulanık çıkarım motoru: Karar verme, bilgi işleme süreçlerinin yönetildiği birimdir. Çıkarım motoru bulanıklaştırma biriminden gelen giriş verisini, bulanık kural tabanından aldığı bilgiye göre işleyerek uygun çıkış verisinin hesaplanmasını sağlar. Çıkarım motorunun çıkış verisi de giriş verisi gibi kesin değil bulanık haldedir. Çıkarım motorunun Mamdani ve Sugeno olmak üzere kullandığı iki çeşit çıkarım yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler kısmi olarak birbirinden farklı sonuçlar verir. Literatürde tercih edilen yöntem, Mamdani çıkarım metotudur.

Durulaştırma birimi: Çıkarım motorunun bulanık çıkış verilerinin problemin giriş verilerinin ölçeğine uygun olarak $[0,1]$ aralığındaki kesin verilere çevrildiği birimdir. Durulaştırma biriminde bilimsel literatürde en çok kullanılan yöntem centroid (alan merkezi) metotudur.

Çıkış: Durulaştırma biriminde kesin verilere çevrilen bütün çıktı değerleridir. Bulanık sistemin, probleme getirdiği çözümü ifade eder.

5.2.3 Bulanık Mantık Temelli Model Oluşturma

Düz camların temperlenmesinde temper parametrelerinin optimizasyonu ve diğer girdi değişkenlerin kamburluğa etkisinin araştırılması için gerekli olan bir bulanık mantık modeli oluşturulmasıdır. Bu çalışmada “Fuzzy Logic” kullanılarak modellenmiştir. Problemin matematiksel bir modelini oluşturmadan bulanık mantık modellemesi ile giriş değerlerine karşılık gelen deneylerden elde edilen sonuç değerlerinin benzetimi yapılmıştır. Deney tasarımı fırın hızı, fırın sıcaklığı, quench yüksekliği parametrelerine ait üçer adet değerle yapıldığından bahsedilmiştir. Sistem, her biri ayrı bir giriş parametresini temsil etmek üzere 3 farklı giriş ve 2 farklı çıkıştan oluşmaktadır. Çıkış parametreleri deneysel yöntemden elde edilen kamburluktur. Temperli camın kamburluğunu tahmin etmek için oluşturulan model Şekil 5.7’deki gibidir.



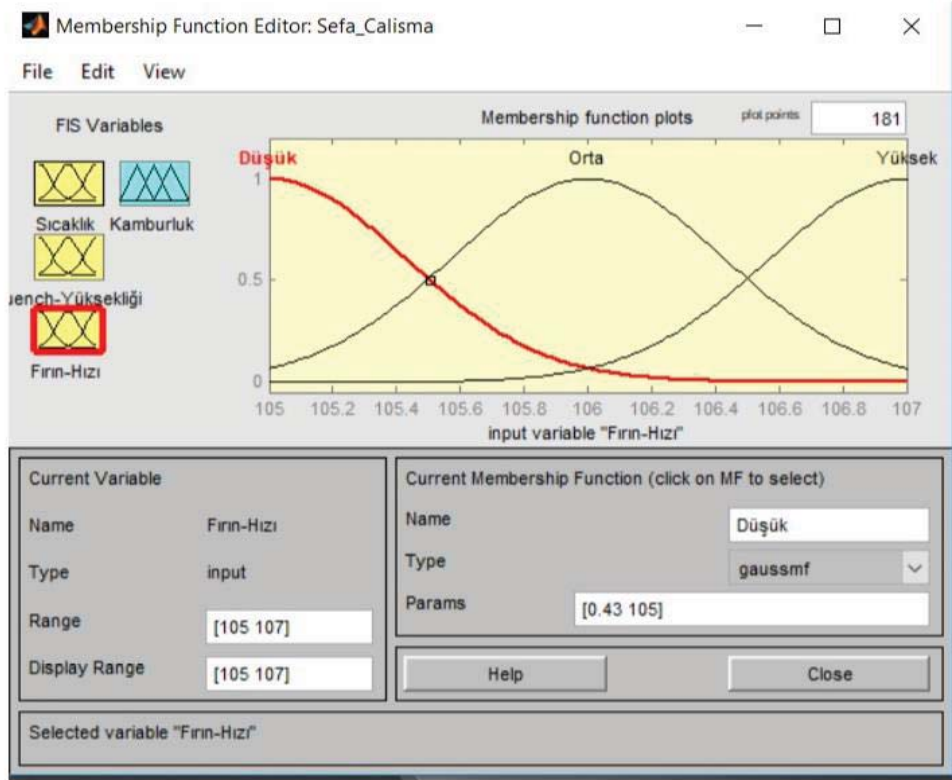
Şekil 5.7. Düz Camların Kamburluğunu Tahmin Etmek İçin Oluşturulan Bulanık Mantık Modeli.

Deney prosedürlerinde kullanılacak parametreleri tanımlamak için dilsel değişkenler seçilmiştir. Parametre değerleri için belirlenen dilsel değişkenler Çizelge 5.4'deki gibidir.

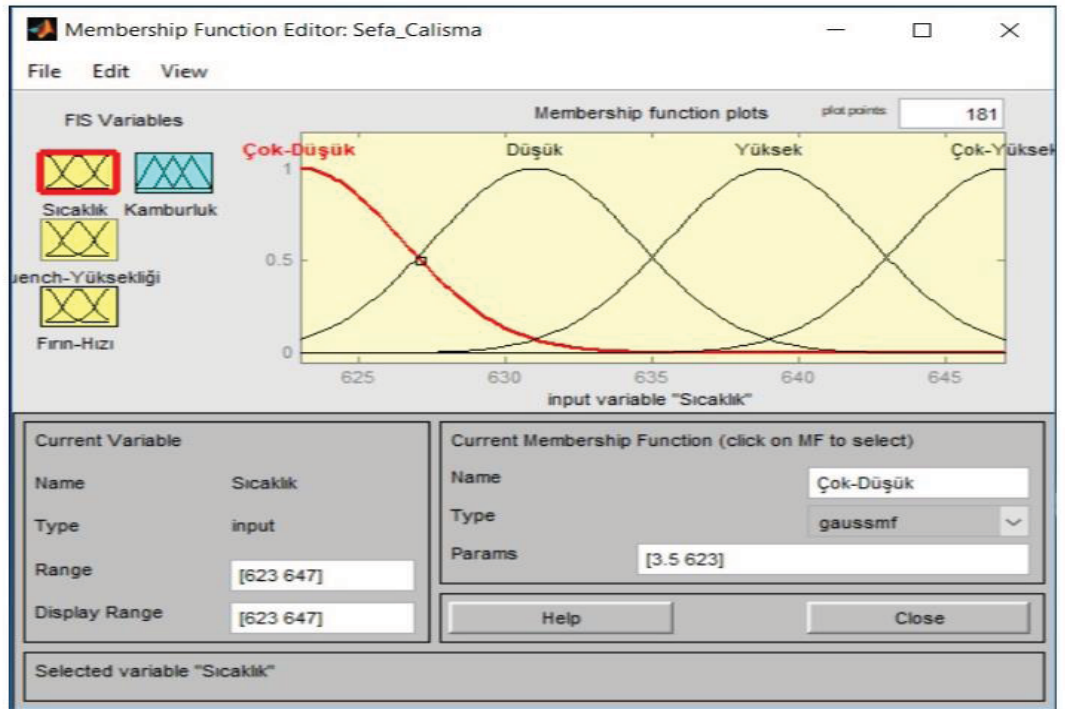
Çizelge 5.4. Proses Parametrelerini Tanımlamak İçin Kullanılan Değişkenler.

Sözel Değişkenler	Sıcaklık (°C)	Quench Yüksekliği (mm)	Fırın Hızı (mm/sn)
Çok Düşük	623	8,4	
Düşük	631	9,2	105
Orta			106
Yüksek	639	10	107
Çok Yüksek	647	10,8	

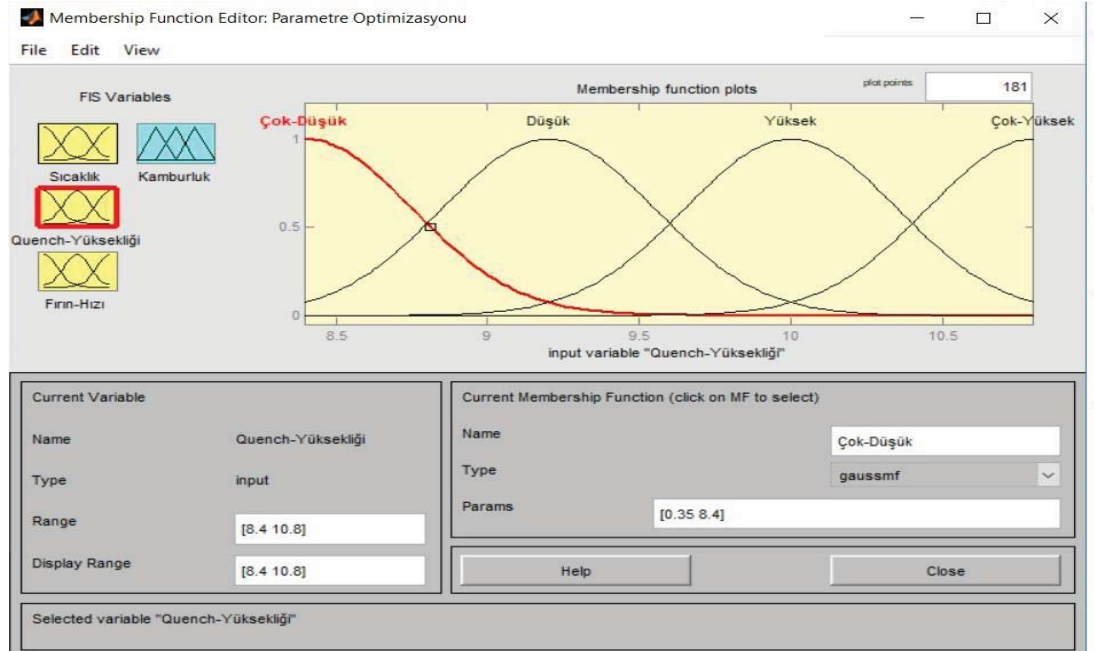
Her parametre değeri için beş farklı giriş değeri seçilmişti. Seçilen bu parametrelerin bulanık mantık sistemine uyması için sözel beş seviyeye ayrılmıştır. Parametre değerleri için belirlenen dilsel değişkenlerin her biri bir seviyeyi temsil etmek üzere parametre değerleri için üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Üyelik fonksiyonları için gauss tipi üyelik fonksiyonları seçilmiştir. Her bir parametre için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Fırın Hızı Üyelik Fonksiyonları



Şekil 5.9. Sıcaklık Üyelik Fonksiyonları



Şekil 5.10. Quench Yüksekliği Üyelik Fonksiyonları

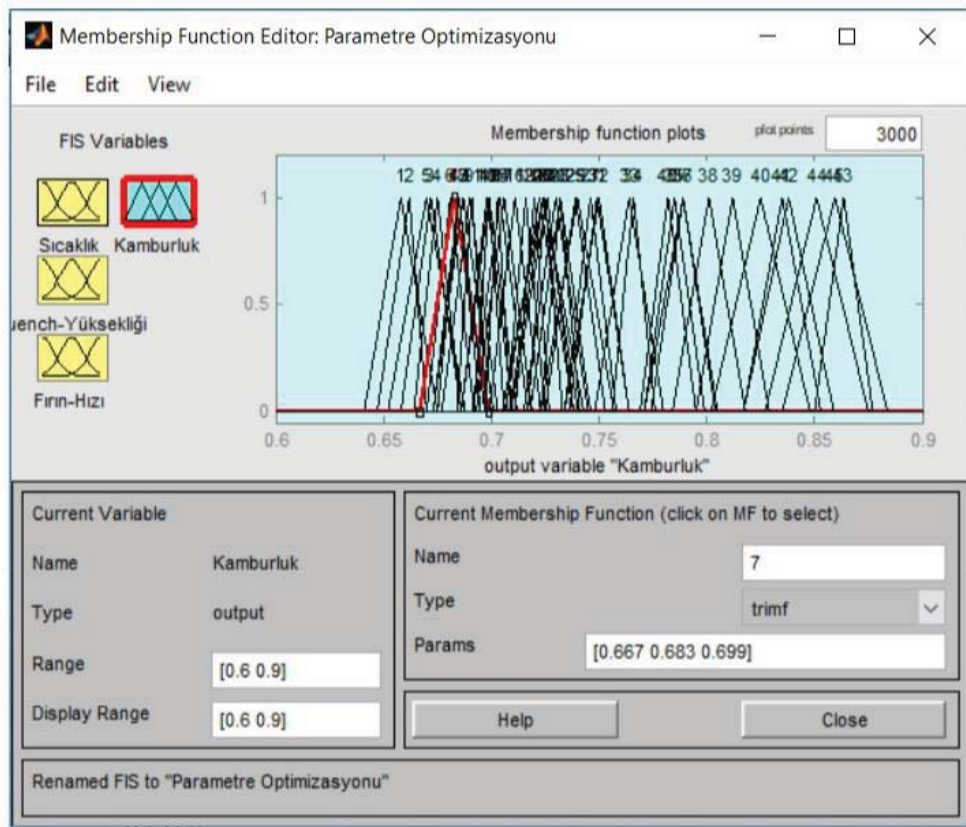
Bu deneyde deneme yanılma yöntemi ile giriş verilerine karşılık gelen çıkış verileri tutturulmaya çalışılmıştır. Üyelik fonksiyonları, rastgele birbirinden farklı her çıkış verisi değerine bir adet denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Sonrasında kural tabanı oluşturulmuş ve her bir deney numarası için sonuçlar tek tek girilmiş ve üyelik fonksiyonları deneme yanılma yapılarak deneyin çıktıları ile uyumlu hale getirilmiştir. Kamburluk çıktısı için birbirinden farklı 48 üyelik fonksiyonu ile bulanık kural tablosu oluşturulmuştur (Çizelge 5.5). Fonksiyonların numaralandırılması, ilk fonksiyonun en düşük çıkış değerine karşılık geldiği şekilde yapılmıştır. Karşılık gelen sayısal veriler fonksiyon numaraları ile değişmektedir.

Çizelge 5.5. Proses Parametrelerini Belirlemek İçin Oluşturulan Bulanık Kural Tablosu

Ölçüm No	Sıcaklık (°C)	Quench Yük. (mm)	Fırın Hızı (mm/sn)	Kamburluk (mm)	Kamburluk Fonksiyon Numarası
1	623	8,4	105	0,674	3
2	623	8,4	106	0,665	2
3	623	8,4	107	0,661	1
4	623	9,2	105	0,694	10
5	623	9,2	106	0,682	6
6	623	9,2	107	0,676	4
7	623	10	105	0,709	16
8	623	10	106	0,703	14
9	623	10	107	0,693	9
10	623	10,8	105	0,722	20
11	623	10,8	106	0,718	18
12	623	10,8	107	0,701	12
13	631	8,4	105	0,693	47
14	631	8,4	106	0,689	7
15	631	8,4	107	0,678	5
16	631	9,2	105	0,705	15
17	631	9,2	106	0,698	11
18	631	9,2	107	0,691	8
19	631	10	105	0,721	19
20	631	10	106	0,709	46
21	631	10	107	0,702	13
22	631	10,8	105	0,729	22
23	631	10,8	106	0,724	21

24	631	10,8	107	0,715	17
25	639	8,4	105	0,748	27
26	639	8,4	106	0,739	25
27	639	8,4	107	0,732	23
28	639	9,2	105	0,751	29
29	639	9,2	106	0,745	26
30	639	9,2	107	0,738	24
31	639	10	105	0,768	32
32	639	10	106	0,756	30
33	639	10	107	0,749	28
34	639	10,8	105	0,775	34
35	639	10,8	106	0,770	33
36	639	10,8	107	0,762	31
37	647	8,4	105	0,784	36
38	647	8,4	106	0,779	35
39	647	8,4	107	0,775	48
40	647	9,2	105	0,803	39
41	647	9,2	106	0,794	38
42	647	9,2	107	0,786	37
43	647	10	105	0,823	42
44	647	10	106	0,817	41
45	647	10	107	0,812	40
46	647	10,8	105	0,841	45
47	647	10,8	106	0,832	44
48	647	10,8	107	0,829	43

Bulanık kurallar programa yerleştirilmiştir. Modelin hassasiyeti kural sayısına bağlıdır. Kural sayısı arttıkça modelin hassasiyeti artmaktadır. Deneme yanılma yöntemi ile oluşturulan kamburluğa ait üyelik fonksiyonları Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Kamburluk Üyelik Fonksiyonları

Üyelik fonksiyonları kullanılarak, bulanık mantık ile oluşturulan doğrulama sonuçları Çizelge 5.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Bulanık Mantık Deney Doğrulama Sonuçları.

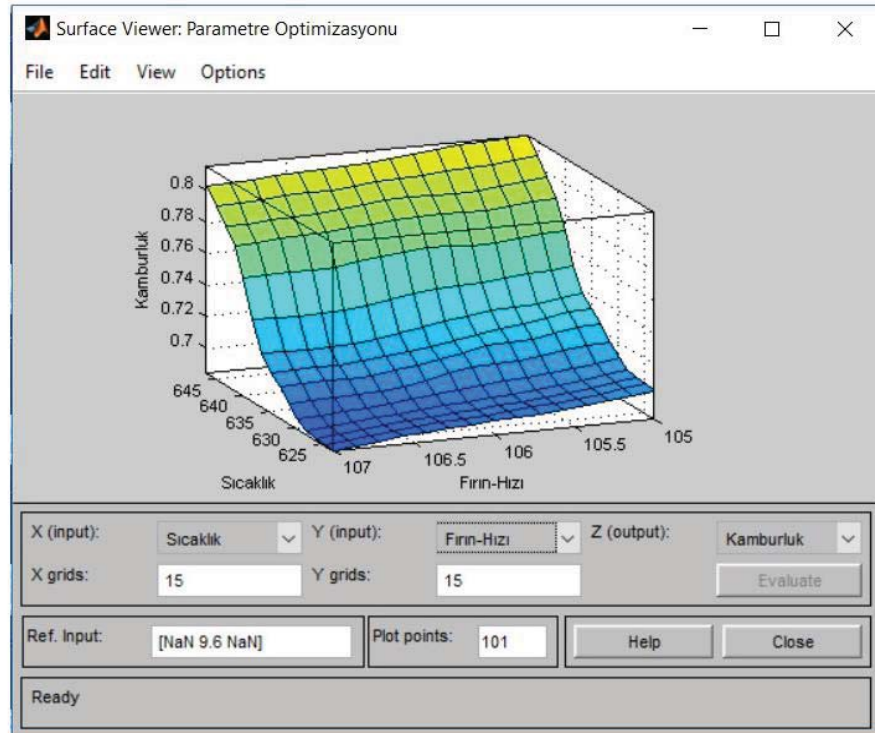
Ölçüm No	Sıcaklık (°C)	Quench Yük. (mm)	Fırın Hızı (mm/sn)	Kamburluk (mm)	Kamburluk Fonksiyon Numarası	Bulanık Mantık	Fark
1	623	8,4	105	0,674	3	0,674	0
2	623	8,4	106	0,665	2	0,665	0
3	623	8,4	107	0,661	1	0,661	0
4	623	9,2	105	0,694	10	0,694	0
5	623	9,2	106	0,682	6	0,682	0
6	623	9,2	107	0,676	4	0,676	0
7	623	10	105	0,709	16	0,709	0
8	623	10	106	0,703	14	0,703	0

9	623	10	107	0,693	9	0,693	0
10	623	10,8	105	0,722	20	0,722	0
11	623	10,8	106	0,718	18	0,718	0
12	623	10,8	107	0,701	12	0,701	0
13	631	8,4	105	0,693	47	0,693	0
14	631	8,4	106	0,689	7	0,689	0
15	631	8,4	107	0,678	5	0,678	0
16	631	9,2	105	0,705	15	0,705	0
17	631	9,2	106	0,698	11	0,698	0
18	631	9,2	107	0,691	8	0,691	0
19	631	10	105	0,721	19	0,721	0
20	631	10	106	0,709	46	0,709	0
21	631	10	107	0,702	13	7,701	-0,001
22	631	10,8	105	0,729	22	0,729	0
23	631	10,8	106	0,724	21	0,723	-0,001
24	631	10,8	107	0,715	17	0,714	-0,001
25	639	8,4	105	0,748	27	0,748	0
26	639	8,4	106	0,739	25	0,739	0
27	639	8,4	107	0,732	23	0,732	0
28	639	9,2	105	0,751	29	0,751	0
29	639	9,2	106	0,745	26	0,745	0
30	639	9,2	107	0,738	24	0,739	0,001
31	639	10	105	0,768	32	0,768	0
32	639	10	106	0,756	30	0,756	0
33	639	10	107	0,749	28	0,749	0
34	639	10,8	105	0,775	34	0,775	0
35	639	10,8	106	0,770	33	0,770	0
36	639	10,8	107	0,762	31	0,762	0
37	647	8,4	105	0,784	36	0,784	0
38	647	8,4	106	0,779	35	0,779	0
39	647	8,4	107	0,775	48	0,775	0
40	647	9,2	105	0,803	39	0,803	0
41	647	9,2	106	0,794	38	0,794	0
42	647	9,2	107	0,786	37	0,786	0
43	647	10	105	0,823	42	0,823	0
44	647	10	106	0,817	41	0,817	0
45	647	10	107	0,812	40	0,812	0
46	647	10,8	105	0,841	45	0,841	0
47	647	10,8	106	0,832	44	0,832	0
48	647	10,8	107	0,829	43	0,829	0

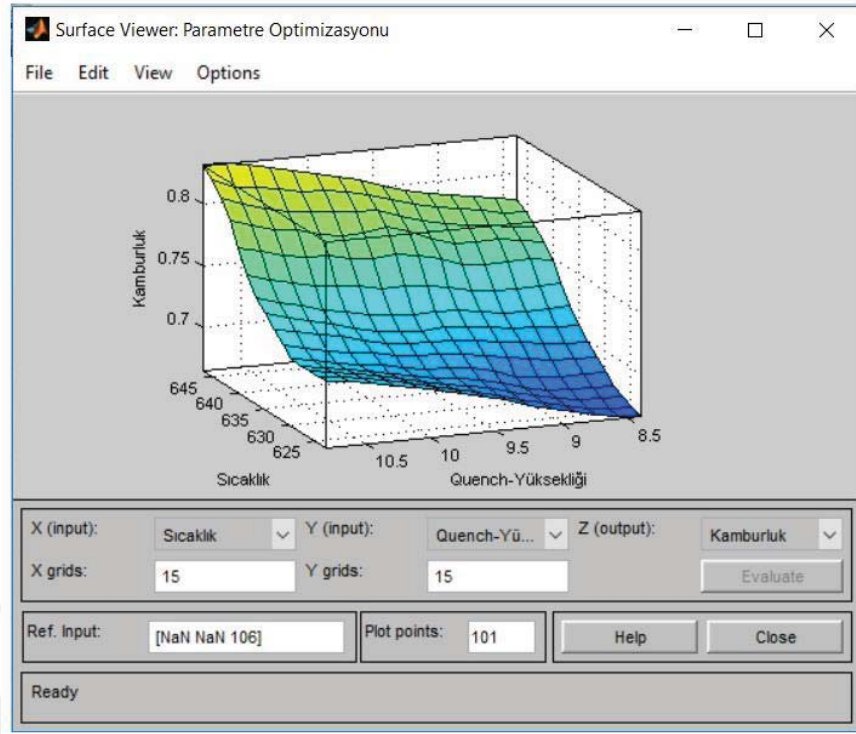
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Temperleme işlemi, beyaz eşya sektöründe kullanılan camlarda öncelikli güvenlik açısından yapılır. Bu nedenle temper parametrelerinin optimizasyonu büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada düz camların temperlenmesinde temper parametreleri optimize edilmiştir. Optimizasyon 2 deney metodu üzerinde yapılmıştır. Bunlardan birisi “Fuzzy Logic” yani bulanık mantık, diğeri ise genel regresyon analizidir.

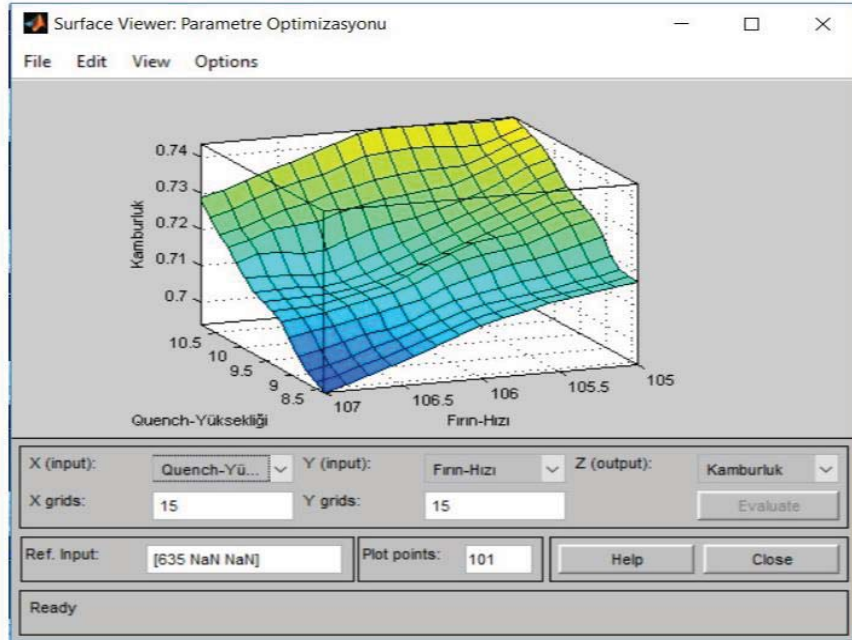
Bulanık mantık ile oluşturulan model ve deney doğruluğu Çizelge 5.6’da sağlanmıştır. Bu deney ile oluşturulan modellemeler incelenecektir. Deney giriş parametreleri ile çıkış parametresinin arasındaki yüzey modelleri gösterilecektir. Bu modeller Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’de gösterilmiştir. Bulanık mantık da bulgular ortaya konduktan sonra ara değer tahminlemesi yapılacaktır. Genel regresyon analizi ile elde edilen optimizasyon formülü ile kıyaslama yapılacaktır. Kıyaslama sonucu tartışma yapılarak, değerleri optimize etmek için uygun yöntem belirlenecektir.



Şekil 6.1. Camın Kamburluğunun Fırın Hızı ve Sıcaklığa Göre Değişimi



Şekil 6.2. Camın Kamburluğunun Quench Yüksekliği ve Sıcaklığa Göre Değişimi



Şekil 6.3. Camın Kamburluğunun Quench Yüksekliği ve Fırın Hızına Göre Değişimi

Şekiller incelendiğinde kamburluğa en çok etki eden parametrenin sıcaklık olduğu görülmektedir.

İstisnai durumlar hariç sıcaklık artınca kamburluğun arttığı, fırın hızı artınca kamburluğun azaldığı, quench yüksekliği artınca kamburluğun arttığı görülmüştür.

Camlarda en düşük kamburluğu değeri, fırın hızı 107 mm/sn, sıcaklık 623 °C ve quench yüksekliği 8,4 mm iken elde edilmiştir. Kamburluğunun en yüksek değerleri ise fırın hızı 105 mm/sn, sıcaklık 647 °C ve quench mesafesi 10,8 mm şeklindedir.

Elde edilen en düşük kamburluk değeri parametreleri genel regresyon analizi formülünde yerine koyulup ölçülen değerler ile kıyaslanacaktır.

Sıcaklık : 623 °C

Quench Yüksekliği: 8,4 mm

Fırın Hızı : 105 mm/sn

Genel Regresyon Analizi Formülü;

$$\text{KAMBURLUK (mm)} = -1752 + 0,004906 \text{ SICAKLIK (}^{\circ}\text{C)} + 0,01773 \text{ QUENCH YÜKSEKLİĞİ (mm)} - 0,00750 \text{ FIRIN HIZI (mm/s)}$$

$$\text{KAMBURLUK (mm)} = -1,752 + 0,004906 \times 623 + 0,01773 \times 8,4 - 0,00750 \times 105$$

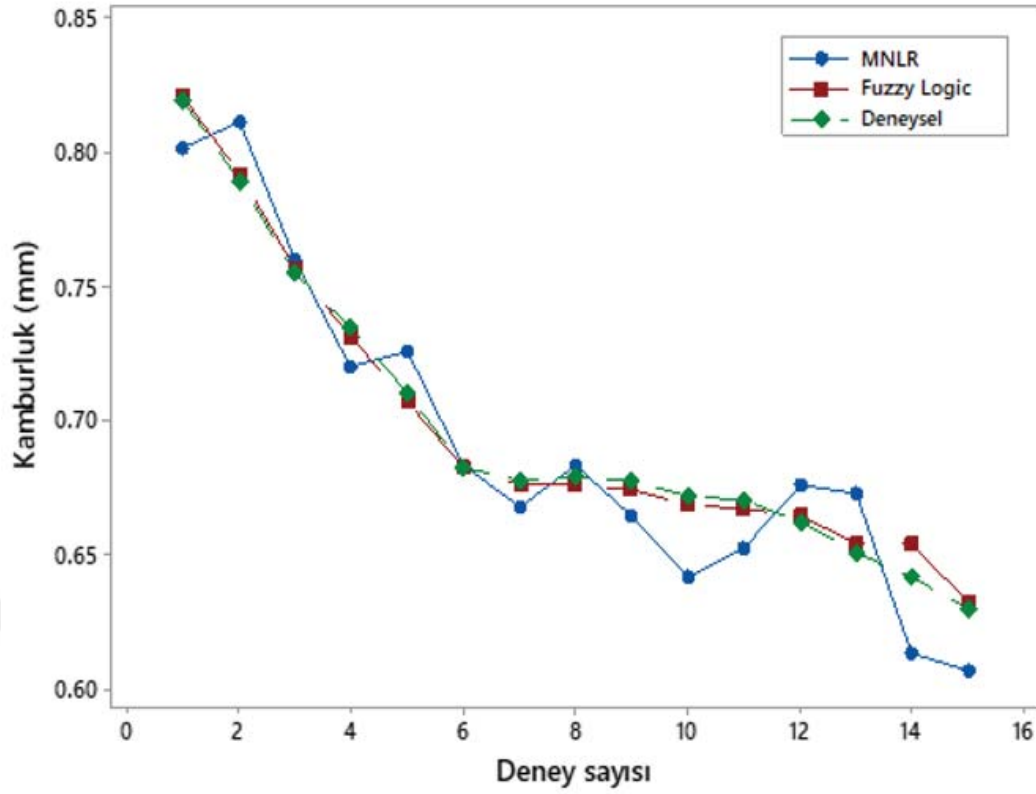
Kamburluk değeri 0,651 olarak çıkmaktadır.

Genel regresyon analizi ve bulanık mantık da ara değerler kullanılarak yapılan deneme sonuçları Çizelge 6.1’dedir.

Çizelge 6.1. Genel Regresyon ve Bulanık Mantık Doğrulama Sonuçları

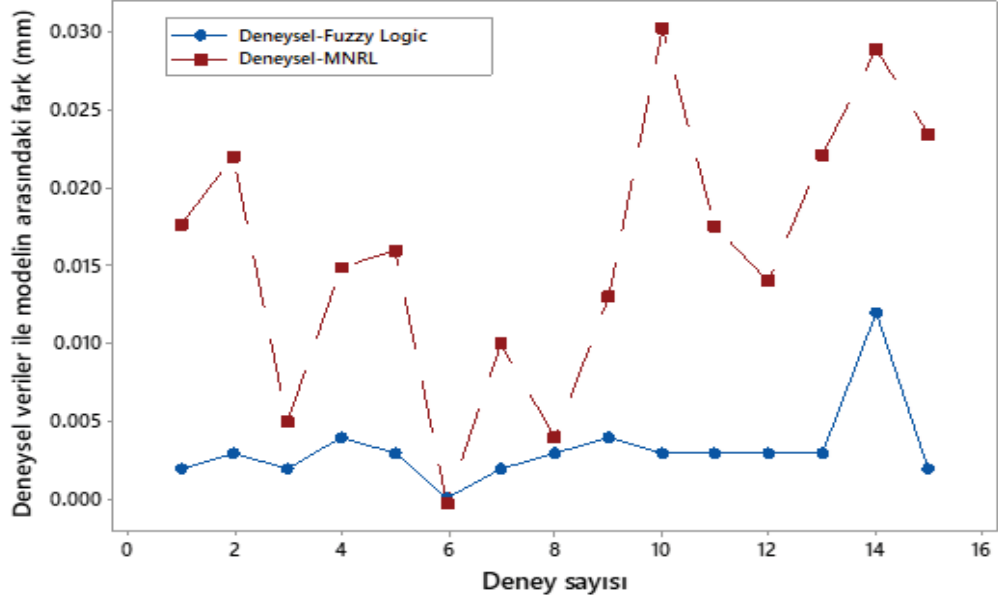
Ara Değer Ölçüm No	Sıcaklık (°C)	Fırın Hızı (mm/sn)	Quench Yüksekliği (mm)	Genel Regresyon Kamburluk (mm)	Fuzzy (mm)	Gerçek Değer (mm)
1	625	105,5	9	0,683	0,683	0,6828
2	630	106,5	10,5	0,726	0,707	0,71
3	627	105,8	8,6	0,683	0,676	0,679
4	640	106,2	9,5	0,76	0,757	0,755
5	623	105,3	8,5	0,665	0,674	0,678
6	610	106,6	9,7	0,613	0,654	0,642
7	646	105,9	10,6	0,811	0,792	0,789
8	644	106,1	10,7	0,801	0,821	0,819
9	624	105,4	8,7	0,673	0,654	0,651
10	626	106,8	8,9	0,676	0,665	0,662
11	611	106,7	9,1	0,607	0,632	0,63
12	617	106,4	9,9	0,653	6,667	0,67
13	618	105,4	8,6	0,642	0,669	0,672
14	629	105,7	10,1	0,720	0,731	0,735
15	622	106,9	9,6	0,668	0,676	0,678

Yapılan ara değer deneme sonucunda bulanık mantık ve genel regresyon kamburluk sonuçları bir birine yakın çıkmıştır. Sonuçlar tutarlıdır. Fakat Fuzzy Logic kamburluk tahmini gerçek değerlere daha yakın çıkmaktadır.



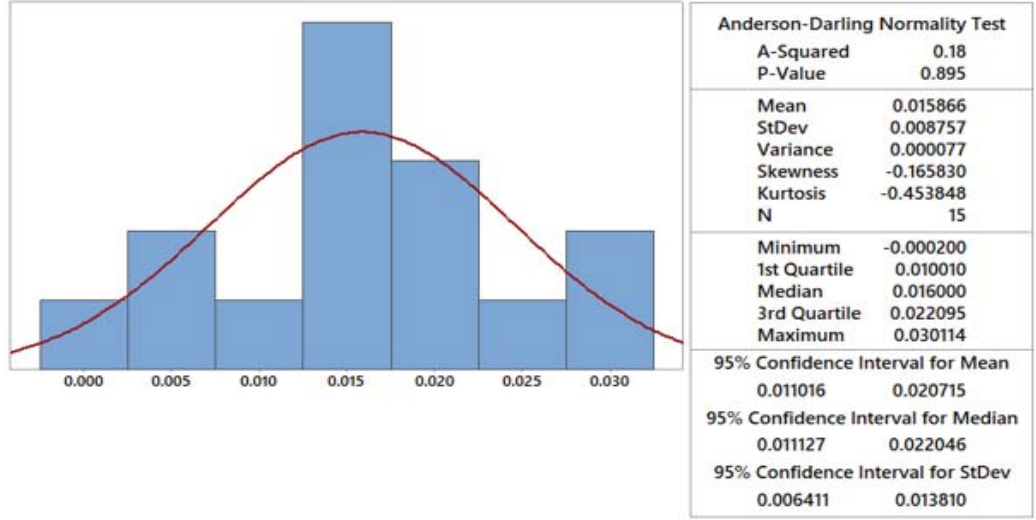
Şekil 6.4. Gerçek Değerlere Göre Fuzzy Logic ve Genel Regresyon Tahmini

Şekil 6.4'deki grafikte gerçek değerlere göre genel regresyon analizi ve Fuzzy Logic kamburluk tahminleri görülmektedir. Fuzzy Logic kamburluk değerleri gerçek değerlere daha yakın çıkmaktadır. Genel regresyon analizi ve Fuzzy Logic kamburluk değerlerinin standart sapmaları incelenmiştir. Fuzzy Logic kamburluk değerlerinin standart sapması daha düşüktür. Şekil 6.4'deki grafikte de Fuzzy Logic kamburluk çizgisinin, gerçek değer kamburluk çizgisine daha yakın olduğu görülmektedir.

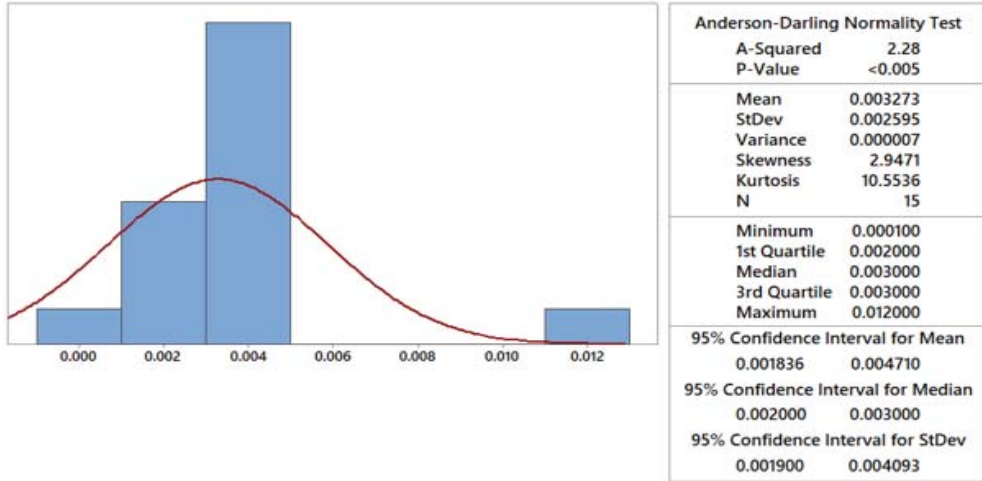


Şekil 6.5. Fuzzy Logic ve Genel Regresyon Tahmini Karşılaştırması

Şekil 6.5’de Fuzzy Logic ve genel regresyon analizi tahminleri karşılaştırılmıştır. Tahminler incelendiğinde Fuzzy Logic’in sapmasının daha az olduğu görülmektedir. Şekil 6.5’deki grafikte genel regresyon kamburluk değeri çizgisi daha geniş bir değer aralığında hareket etmektedir. Fuzzy Logic kamburluk değeri çizgisi daha dar bir değer aralığında hareket etmiştir.



Şekil 6.6. Genel Regresyon Tahmini



Şekil 6.7. Fuzzy Logic Tahmini

Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de genel regresyon ve Fuzzy Logic standart sapmaları görülmektedir. Genel regresyon standart sapması 0.008757 iken, Fuzzy Logic standart sapması 0.002597’dir. Sonuç olarak Fuzzy Logic standart sapması daha düşüktür ve gerçek değerlere daha yakın sonuç vermektedir.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Cam ve cam ilgili kavram açıklamaları ile başlanan çalışmada, cam tarihsel gelişimi incelenerek devam edilmiştir. Amaç camın nasıl oluştuğu ve günümüze kadar olan ilerlemesinin incelenmesidir. Camın kimyasal yapısına temel anlamda değinilmiştir. Ardından temper prosesi ve temper prosesinin adımları anlatılmıştır. Beyaz eşya sektöründe temper prosesinin önemi ve temperli cama uygulanan kalite kriterleri anlatılmıştır.

Tezin amacı, temper prosesini incelemek ve temper parametrelerinin optimizasyonudur. Özellikle fırın, fırın içinde bulunan ekipmanlar, quench ve cooling bölümleri detaylı anlatılmıştır. Camın dayanıklılığın artırılması için temper işlemi önemli bir yöntemdir. Ayrıca cam temperi günümüzde iş sağlığı ve güvenliği açısından da büyük önem arz etmektedir.

Optimizasyon çalışmasında 4 mm düz camların dataları incelenmiş ve belirlenmiş analiz yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada üç parametrenin camın kamburluğuna olan etkisi incelenmiştir. Bulgular ve tartışma bölümünde de analiz sonuçları detaylı olarak anlatılmıştır. Temel olarak üç değişkenin kamburluk ile doğrudan ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Camın kamburluğuna etki eden girdiler önem derecesine göre sıcaklık, fırın hızı ve quench yüksekliğidir.

Gerçek zamanda elde nümerik dataların genel regresyon analizi ve bulanık mantık ile modellemesi yapılmıştır. Genel regresyon analizi Minitab programında, bulanık mantık modellemesi de Matlab Fuzzy Logic araç kutusu kullanılarak yapılmıştır. Genel regresyon analizinde elde edilen formülden, bulanık mantık da ise oluşturulan yüzey modellerinden faydalanılmıştır. Sonrasında iki yöntem ile ara değer denemesi yapılarak karşılaştırma yapılmıştır. Her iki metodun sonuçları tutarlı çıkmıştır. Fakat Fuzzy Logic ile bulunan tahminler gerçek değere daha yakın çıkmıştır.

Günümüzde cam sektörü önemli bir yere sahiptir. Özellikle beyaz eşya sektöründe kullanılan camların kalite kriterleri oldukça yüksektir. Temper prosesi de beyaz eşya camlarında büyük önem arz etmektedir. Temper prosesinde bir kalite problemi olarak karşılaşılan kamburluk için optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Yapılan alışma, ürün kalitesini arttırmak için kullanılabilir. Ayrıca yapılan çalışma ile cam işleyici firmalar maliyet azaltma çalışması, müşteri şikyeti azaltma çalışmalarını yapabilirler.



8.KAYNAKLAR

- Açıkders, Camın Tarihi, <http://sacikders.ankara.edu.tr/modresourceview.php?id=34787>, 08 Kasım 2018.
- Bao-Wei F, Ke-Qian Z, Qiang S, Tao S, Ning-Yi Y, Jian-Ning D (2016) “Effect of glass thickness on temperature gradient and stress distribution during glass tempering”, 437; 72-79.
- Bilgihanem, Camın İcadı, <https://bilgihanem.com/camin-icadi-cam-nedir/>, 08 Kasım 2018.
- Bilişimport, Ankastre Fırın, <https://www.bilisimport.com/urun/bosch-hbj558yb0t-ankastre-firin>, 01 Ocak 2019
- Büyükıldız A (2007) “PLC kullanılarak cam temperleme fırınının otomasyonu”, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2(13); 247-256.
- Cossavella M, Morcant K, Panait A and Yvonnet J (2008) “The tempering of glass and the failure of tempered glass plates with pinloaded joints: Modelling and simulation”, Materials and Design, 29; 943–951.
- Eşsiz Ö. (2004) “Teknolojinin cam panellerine getirdiği yenilikler”, 1. Ulusal Çatı ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, İstanbul, 73-82.
- Gökyiğit, Cam, <https://www.gokyigit.com.tr/index.php/tr/blog-1/120-cam%C4%B1n-yap%C4%B1s%C4%B1-ve-i%C3%A7eri%C4%9Fi.html>, 08 Kasım 2018.
- Günay V ve Yılmaz Ş (2010) “Cam- Seramikler Bilim ve Teknolojisi”, TÜBİTAK, Gebze.
- Isıtürkrezistans, Rezistans, http://www.isiturkrezistans.com/rezistans_nedir.php, 30 Aralık 2018.
- Kantürer T (2009) “Otomobil Camı Üretiminde Enerji Yoğun Süreçlerin Optimizasyonu Doktora Tezi”, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Karaağaç M (2017) “Düz Camın Yüksek Basıncılı Su (Waterjet) ile Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu Yüksek Lisans Tezi”, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karshoğlu F Aslı (2007) “1950’den Günümüze Cam Heykel Sanatı Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi”, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü.
- Küçükerman Ö (1985) “Cam Sanatı ve Geleneksel Türk Camcılığında Örnekler”, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, No: 271 Art Series.

- Megep (2008) “Seramik ve Cam Teknolojisi Camın Kimyasal Yapısı”, MEB, Ankara.
- MTA, Kuvars, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kuvars>, 08 Kasım 2018.
- MTA, Obsidyen, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/obsidyen>, 08 Kasım 2018.
- Mustafa G, Hilmi Y, Mehmet A, Mehmet K ve Yakup S (2011) “Oto Cam Temperleme Deney Duzeneğinin Kurulumu ve Isıtma-Soğutma Surelerinin Tayini İçin Ornek Bir Uygulama”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 8; 57-68.
- Mustafa G, Hilmi Y, Mehmet A, Mehmet K ve Yakup S (2012) “Oto Camların Temperlenmesinde Çarpan Hava Jetleri İle Soğutmanın Deneysel İncelenmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi Cilt 27; 775-783.
- Mustafa G, Mehmet A ve Yakup S (2014) “Oto Cam Temperleme İşleminde Isıtma ve Soğutma Sıcaklıklarının Ani Soğutma Süresine ve Parçacık Sayısına Etkisi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi Cilt 29; 605-615.
- Mühendis Beyinler, Bulanık Mantık, <https://www.muhendisbeyinler.net/yapay-zeka-ve-bulanik-mantik-nedir/>, 07 Temmuz 2019.
- Özharmancı F (2018) “Yüksek Lisans Tezi”, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- P005, P Değeri, <http://www.p005.net/pdegerinedir>, 10 Temmuz 2019.
- Schneider J and Pourmoghaddam N (2018) “Finite-element analysis of the residual stresses in tempered glass plates with holes or cut-outs”, DOI: 10.1007/s40940-018-0055-z.
- TMMOB, Cam Temperleme, http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/9b2c13d2773d7dc_ek.pdf, 08 Kasım 2018.
- TOBB, Cam Sektörü (2012), “ Türkiye Cam ve Cam Ürünleri Sanayi Meclisi Sektör Raporu”, TOBB Yayın Sıra No: 2013/203.
- Tosun K Camlar (2013) Camlar, http://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/13._Camlar.pdf, 08 Kasım 2018.
- 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; 829-854.
- Yorsan, Temper, <http://www.yorsancam.com/wp-content/uploads/2015/01/temper.pdf>, 08 Kasım 2018.

9.ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sefa Gökdemir

Doğum Yeri ve Tarihi : Bolu 08.11.1990

Lisans Üniversite : Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Elektronik posta : sefagokdemir@gmail.com

İletişim Adresi : -

Yayın Listesi :

Ödüller : -