

**CAMIN TAVLANMASI VE TAVLAMA
SIRASINDA OLUŞAN HATALAR**

Yüksek Lisans Tezi

Ecem YILMAZ

Eskişehir 2019

CAMIN TAVLANMASI VE TAVLAMA SIRASINDA OLUŞAN HATALAR

Ecem YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Cam Ana Sanat Dalı
Tezli Yüksek Lisans Programı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gökтуğ GÜNKAYA**

**Eskişehir
Anadolu Üniversitesi
Güzel Sanatlar Enstitüsü
Mayıs 2019**

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından kabul edilen 1801E011 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ecem YILMAZ'ın "**Camın Tavlanması ve Tavlama Sırasında Oluşan Hatalar**" başlıklı tezi **30 Mayıs 2019** tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca, **Cam Anasanat Dalı Yüksek Lisans** tezi olarak değerlendirilerek kabul edilmiştir.

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Dr. Öğr. Üyesi Göktaş GÜNKAYA

.....

Üye : Prof. Mustafa AĞATEKİN

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Emrah DÖLEKÇEKİÇ

.....

Prof. Hayri ESMER
Anadolu Üniversitesi
Güzel Sanatlar Enstitüsü Müdürü

ÖZET

CAMIN TAVLANMASI VE TAVLAMA SIRASINDA OLUŞAN HATALAR

Ecem YILMAZ

Cam Anasanat Dalı

Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Mayıs 2019

Dr. Öğr. Üyesi Göktuğ GÜNKAYA

Cam teknikleri ile ilgili birçok kaynak olmasına rağmen camda tavlama işleminin ilk ne zaman ve nasıl yapıldığı ile ilgili çok fazla kaynağa rastlanmamıştır. Geçmişte tavlama işleminin nasıl yapıldığı bilinmemektedir. Bu nedenden dolayı eserlerin günümüze kadar ulaşmamasının sebebi olarak camın içerisinde kalan gerilimlerin olduğu düşünülmektedir. Cam tekniklerinin gelişmesi ile birlikte tavlama işlemi uygulanmaya başlanmıştır. Önceleri üretilen camların sıcak cam ocağının üst kısmında bulunan haznede tavlama işlemi yapılmıştır. Daha sonraları üretilen eserlerin artması ile birlikte ocağın yan tarafında bulunan haznede tavlama işlemi uygulanmıştır. Gelişen sanayi ile birlikte tavlama fırınları ergitme fırınından ayrı olacak şekilde tasarlanmış ve bu şekilde kullanılmaya başlanılmıştır.

Bu tez çalışmasında ülkemizdeki cam sanatçılarının, kalıpla şekillendirme tekniklerinde genellikle kullandığı Ornella ve Glasma 705 camları çalışılmıştır. Kalıpla şekillendirme tekniğinde ise fırın diyagramının son aşamasında camın iç gerilimlerinin giderilebileceği uygun sıcaklıkta yeteri süre bekletilip ardından yavaş bir şekilde soğutma yapılarak tavlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Camların tavlama sıcaklıkları literatür araştırması ve deneysel çalışmalarla tespit edilmiştir. Ayrıca planlanan modelin farklı kalınlıklarda dökümleri yapılmıştır ve farklı sürelerde tavlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu deneylerdeki tavlama sıcaklıklarının ve sürelerinin yeterli olup olmadığını görmek için polariskop ile incelemeleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda camların et kalınlıklarına bağlı olarak en uygun tavlama sıcaklıkları ve süreleri belirlenmiştir. Cam konusunda çalışma ve sanatsal üretim yapan sanatçıların cam işlerinde oluşacak gerilimlerin en aza indirilebilmesi için önemli bir kaynak olacağı düşünüldükten bu tez çalışması hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Cam, Camın tavllanması, Tavlama.

ABSTRACT

ANNEALING OF THE GLASS AND DEFECTS THROUGH THE ANNEALING PROCESS

Ecem YILMAZ

Department of Glass

Anadolu University Institute of Fine Arts, May 2019

Advisor: Assistant Professor Doctor Gökтуğ GÜNKAYA

Although there are many sources related to glass techniques, there is not much information about the first time and how the annealing process is done. In the past, the process of annealing is not known. For this reason, it is thought that there are tensions left in the glass as the reason why the works did not reach to the present day. With the development of glass techniques, the annealing process has started to be applied. In the past annealing is performed in the chamber at the top of the hot glass furnace. Later, with the increase of the works produced, the chamber on the side of the furnace is used for annealing process. With the developing industry, annealing furnaces were designed to be separate from the melting furnace and started to be used in this way.

In this thesis, Ornella and Glastma 705 glasses which are generally used by glass artists for glass kiln casting in our country are studied. In the kiln casting technique, in the last stage of the kiln diagram, the annealing process was carried out by holding the kiln at a suitable temperature for enough time where the internal stresses of the glass could be removed then cooled slowly. The annealing temperatures of the glasses were determined by the literature research and experimentally. In addition, the planned model was kiln casted in different thicknesses and annealing of them were performed at different time periods. In order to see whether the annealing temperatures and durations in these experiments were sufficient or not, they were examined by polariscope. As a result of these experiments, the optimum annealing temperatures and durations were determined depending on the thickness of the glasses. This thesis has been prepared considering that will be an important resource for minimizing the stress in the glass works of artists' working on glass and artistic production.

Keywords: Glass, Annealing of glass, Annealing.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında yanımda olan ve bilgisini benimle paylaşan tez danışmanım Göktuğ Günkaya' a, bilgi ve desteği ile hep yanımda olan ve bu konuda beni yönlendiren Prof. Mustafa Ağatekin'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamda, yapmış olduğum deneyler için Şişecam Arge merkezine, Dadal Arıburnu'na desteklerinden dolayı, cam fırınları ile ilgili tüm kaynaklarını ve tezini benimle paylaşan Serra Kanyak' a minnettarım.

Her türlü desteği veren ve yanımda olan annem Aysel Yılmaz'a ve babam Niyazi Yılmaz'a, her zaman arkamda olan, beni destekleyen abim Levent Yılmaz'a, tez çalışmalarımda yanımda olan tüm arkadaşlarıma ve bölüm teknisyenlerine teşekkürü bir borç bilirim...

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

30/05/2019

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Ecem YILMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	ii
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	xii
GÖRSELLER DİZİNİ	xiii
GİRİŞ	1
1. CAM TANIMI VE CAM TARİHİ	2
1.1. Camın Tanımı	2
1.2. Cam Tarihi	6
2. GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE TAVLAMA İŞLEMLERİNDE KULLANILAN FIRINLAR.....	17
2.1. Geçmiş Dönemde Tavlama	17
2.1.1. Mezopotamya fırınları ve tavlama	17
2.1.2. Mısır fırınları ve tavlama	19
2.1.3. Roma fırınları ve tavlama	19
2.1.4. Venedik fırınları ve tavlama	22
2.1.5. Osmanlı'daki fırınlar ve tavlama	29
2.1.6. Britanya ve Bohemya fırınları ve tavlama	31
2.2. Günümüz Tavlama Fırınları	34
2.2.1. Sanatsal alanlarda kullanılan tavlama fırınları.....	34
2.2.2. Cam fabrikalarında kullanılan tavlama fırınları	34

3. CAM TAVLAMA İŞLEMİ VE GERİLİMİN GİDERİLMESİ.....	38
3.1. Geçmişte Camın Tavlanması.....	38
3.2. Tavlama Nedir ?	38
3.2.1. Camın içerisindeki gerilimler	41
3.2.2. Tavlama rejimini etkileyen faktörler.....	44
3.2.3. Tavlama metodları	44
3.2.4. Cam tekniklerinde tavlama işlemleri ve kullanılan gereçler	45
3.2.4.1. Sıcak cam üfleme tekniklerinde tavlama işlemleri ve gereçler	45
3.2.4.2. Fırında cam biçimlendirme tekniklerinde tavlama işlemleri ve gereçler	45
3.2.4.3. Alevde şekillendirme tekniklerinde tavlama işlemleri ve gereçler	50
3.2.4.4. Soğuk cam şekillendirme tekniklerinde tavlama işlemleri ve gereçler	52
3.2.5. Polariskop.....	52
3.3. Tavlama Sırasında Oluşan Hatalar	53
3.3.1. Habbe.....	54
3.3.2. Taşlar	55
3.3.3. Homojenite (Damar).....	55
3.3.4. Devitrifikasyon.....	56
3.3.5. Cam tavlama hataları nasıl önlenir	57
4. DENEYLER	59
4.1 Araştırmalarda Kullanılan Camların Tavlama Sıcaklıklarının Tespiti	62

4.2. Farklı Kalınlık, Tavlama Sıcaklığı Ve Bekleme Sürelerine Göre

Tavlama Denemeleri	68
4.2.1. Glasma 705 Cam Denemeleri	68
4.2.1.1. <i>1 cm'lik Glasma 705 camının 470°C'de 15', 60' ve</i> <i>600 tavlama denemeleri</i>	68
4.2.1.2. <i>3 cm'lik Glasma 705 camının 470°C'de 15', 60' ve</i> <i>600' tavlama denemeleri.....</i>	69
4.2.1.3. <i>5 cm'lik Glasma 705 camının 470°C'de 15', 60'</i> <i>ve 600 tavlama Denemeleri.....</i>	70
4.2.1.4. <i>1 cm'lik Glasma 705 camının 510°C'de 15', 60'</i> <i>ve 600' tavlama denemeleri</i>	71
4.2.1.5. <i>3 cm'lik Glasma 705 camının 510°C'de 15', 60'</i> <i>ve 600' tavlama denemeleri</i>	72
4.2.1.6. <i>5 cm'lik Glasma 705 camının 510°C'de 15', 60'</i> <i>ve 600' tavlama denemeleri</i>	73
4.2.1.7. <i>1 cm'lik Glasma 705 camının 550°C'de 15', 60'</i> <i>ve 600' tavlama denemeleri</i>	74
4.2.1.8. <i>3 cm'lik Glasma 705 camının 550°C'de 15', 60'</i> <i>ve 600' tavlama denemeleri.....</i>	75
4.2.1.9. <i>5 cm'lik Glasma 705 camının 550°C'de 15', 60'</i> <i>ve 600' tavlama denemeleri</i>	76
4.2.2. Ornella Renksiz Şeffaf Cam Denemeleri	77
4.2.2.1. <i>1 cm'lik ornella şeffaf camının 430°C'de 15', 60'</i> <i>ve 600' tavlama denemeleri.....</i>	77

4.2.2.2. 3 cm'lik ornella şeffaf camının 430°C'de 15', 60'	
ve 600' tavlama denemeleri	78
4.2.2.3. 5 cm'lik ornella şeffaf camının 430°C'de 15', 60'	
ve 600' tavlama denemeleri	79
4.2.2.4. 1 cm'lik ornella şeffaf camının 470°C'de 15', 60'	
ve 600' tavlama denemeleri	80
4.2.2.5. 3 cm'lik ornella şeffaf camının 470°C'de 15', 60'	
ve 600' tavlama denemeleri	81
4.2.2.6. 5 cm'lik ornella şeffaf camının 470°C'de 15', 60'	
ve 600' tavlama denemeleri	82
4.2.2.7. 1 cm'lik ornella şeffaf camının 510°C'de 15', 60'	
ve 600' tavlama denemeleri	83
4.2.2.8. 3 cm'lik ornella şeffaf camının 510°C'de 15', 60'	
ve 600' tavlama denemeleri	84
4.2.2.9. 5 cm'lik ornella şeffaf camının 510°C'de 15', 60'	
ve 600' tavlama denemeleri	85
4.2.2.10. 1 cm'lik ornella şeffaf camının 550°C'de 15', 60'	
ve 600' tavlama denemeleri	86
4.2.2.11. 3 cm'lik ornella şeffaf camının 550°C'de 15', 60'	
ve 600' tavlama denemeleri	87
4.2.2.12. 5 cm'lik ornella şeffaf camının 550°C'de 15', 60'	
ve 600' tavlama denemeleri.....	88
4.2.3 Ornella Şeffaf mavi cam denemeleri.....	89
4.2.3.1. 1cm'lik ornella mavi camının 550°C'de 15', 60'	
ve 600' tavlama denemeleri	89

4.2.3.2. 3 cm'lik ornella şeffaf camının 550°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri	90
4.2.3.3. 5 cm'lik ornella mavi camının 550°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri	91
4.2.3.4. Küçük boyutlu ornella mavi cam denemelerinin sonuçları	93
4.2.3.5. Alternatif cam tavlama sıcaklığı bulma çalışması (Çubuk yöntemi)	97
4.3. Deneylerin Sonuçları	100
5.KİŞİSEL UYGULAMALAR.....	105
5.1. Anne.....	105
5.2. Göz	105
5.3. Çözölmek.....	106
SONUÇ	107
KAYNAKÇA	112
ÖZGEÇMİŞ	

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1. Fritz Dreisbach'in üfleme camları için önerdiği tavlama diyagramı.....	48
Tablo 3.2. Fibbonaci Sequen' in döküm heykelleri için önerdiği diyagra.....	49
Tablo 3.3 Libensky tavlama yöntemi için önerdiği diyagram (glassnotes,1996).....	50
Tablo 4.1. Camların tavlama sıcaklıkları	63
Tablo 4.2. 850°C'de kalıpta şekillendirmenin ardından 430°C'de çeşitli sürelerdeki yapılan tavlama işleminin fırın diyagramı.....	64
Tablo 4.3. 850 °C'de kalıpta şekillendirmenin ardından 470°C'de çeşitli sürelerdeki yapılan tavlama işleminin fırın diyagramı.....	64
Tablo 4.4. 850 °C'de kalıpta şekillendirmenin ardından 510°C'de çeşitli sürelerdeki yapılan tavlama işleminin fırın diyagramı.....	65
Tablo 4.5. 850 °C'de kalıpta şekillendirmenin ardından 550°C'de çeşitli sürelerdeki yapılan tavlama işleminin fırın diyagramı.....	65
Tablo 4.6. 850 °C'de kalıpta şekillendirmenin ardından 470°C'de çeşitli sürelerdeki yapılan tavlama işleminin fırın diyagramı	66
Tablo 4.7. 850 °C'de kalıpta şekillendirmenin ardından 510°C'de çeşitli sürelerdeki yapılan tavlama işleminin fırın diyagramı.....	66
Tablo 4.8. 850 °C'de kalıpta şekillendirmenin ardından 550°C'de çeşitli sürelerdeki yapılan tavlama işleminin fırın diyagramı.....	67
Tablo 4.9. 850 °C'de kalıpta şekillendirmenin ardından 550°C'de çeşitli sürelerdeki yapılan tavlama işleminin fırın diyagramı.....	67
Tablo 4.10. 5 cm'lik mavi renk cam için uygulanan fırın diagramı.....	92
Tablo 4.11. 2 cm et kalınlığındaki mavi renkli Ornella camlarının tavlama sürelerini bulmak için 550 °C'de 0', 120' tavlama işlemi için uygulanan fırın diyagramları.....	93
Tablo 4.12. 2 cm et kalınlığındaki mavi renkli Ornella camlarının tavlama sürelerini bulmak için 550 °C'de 240', 480' tavlama işlemi için uygulanan fırın diyagramları.....	94

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.13. Camların alçı içerisinde ergitilmesi için kullanılan fırın diyagramı	97
Tablo 4.14. İnce cam çubukların tavlama sıcaklığı bulunması için uygulanan tavlama diyagramı.....	98
Tablo 4.15. İnce cam çubukların tavlama sıcaklığı bulunması için uygulanan tavlama diyagramı.....	99
Tablo 4.16. Glasma 705, Ornella renksiz şeffaf ve Ornella mavi şeffaf camların deneylerinin tablo şeklinde gösterilmesi.....	103
Tablo 4.17. Ornella renksiz şeffaf camların deneylerinin tablo şeklinde gösterilmesi.....	104
Tablo 4.18. Ornella mavi şeffaf camların deneylerinin tablo şeklinde gösterilmesi.....	105

GÖRSELLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Görsel 1.1. Obsidyen Taşı	5
Görsel 1.2. Necef Taşı	5
Görsel 1.3. Kaya kristali ile yapılan Hitit heykeli	6
Görsel 1.4. II.Amenhotep heykeli.....	8
Görsel 2.1. Tell el-Amarna'daki cam fırını.....	19
Görsel 2.2. Tunus- Kartaca'da bulunmuş, Roma cam fırını gösteren kandil parçası.....	20
Görsel 2.3. Roman glassmakers isimli projede oluşturulan Roma tank tipi bir cam ergitme fırınına bitişik tavlama bölmesinin yapım aşamaları...	21
Görsel 2.4. Roman glassmakers isimli projede oluşturulan, oval yapıda bulunan, Roma dönemi cam ergitme fırınından ayrı yapılmış tavlama fırını.....	21
Görsel 2.5. Tralleis kazısında cam fırın görüntüsü.....	22
Görsel 2.6. Hrabanus Maurus'un "De Universo" isimli el yazması eserindeki cam fırını çizimi, M.S. 1023.....	23
Görsel 2.7. Dioscorides'in "Tractus De Herbis" isimli el yazması eserindeki cam fırını çizimi(15. yy.).....	24
Görsel 2.8. "Livres Des Simples Médecines" isimli el yazması eserdeki cam fırını çizimi.....	24
Görsel 2.9. 15. yüzyıl sonlarındaki Venedik cam fırını tipini gösteren bir çizim, Vatikan Müzesi.....	25
Görsel 2.10. Hammaddenin camsı hale gelmesi için kullanılan fırın.....	26
Görsel 2.11. Ön kısımda bulunan fırın ergitme işleminin yapıldığı kısım arka kısımda bulunan fırın ise tavlama fırınıdır.....	27
Görsel 2.12. İki ayrı cam fırını, öndeki ergitme fırını arkadaki ise tavlama fırını...	27
Görsel 2.13. Üç bölümlü cam fırını	28
Görsel 2.14. Cam fırını ve uzun tünel fırını	29
Görsel 2.15. Surname-i Humayun' deki camcıların geçiti.....	30
Görsel 2.16. Britanya ve Bohemya fırınları.....	32

Görsel 2.17. Bohemya tipi bir cam fırını modeli, (18.yy).....	32
Görsel 2.18. Theophilus'un anlattığı cam fırınının modeli.....	33
Görsel 2.19. Sabit tavlama fırınları.....	35
Görsel 2.20. Sabit tavlama fırının çalışma sistemi.....	35
Görsel 2.21. Tünel cam tavlama fırınları.....	35
Görsel 2.22. Sürekli tavlama fırınları.....	36
Görsel 2.23. Kademeli sürekli tavlama fırınları.....	36
Görsel 2.24. Hava dolaşım fanları bulunan tavlama fırınları.....	37
Görsel 2.25. Tavlama bölümü.....	37
Görsel 3.1. Tavlama rejimi grafiği.....	39
Görsel 3.2. Önden yüklemeli tavlama fırını.....	45
Görsel 3.3. Üsten yüklemeli tavlama fırını.....	45
Görsel 3.4. Boncuk tavlama fırını.....	51
Görsel 3.5. Cam elyaf ve Vermikulit.....	52
Görsel 3.6. 10 x 19" Polariskop gerilim skalası görselleri.....	53
Görsel 4.1. Modellerin strafor halleri.....	60
Görsel 4.2. Modellerin kalıp alınması için hazırlanması.....	60
Görsel 4.3. Kalıbı alınan straforların alçı içerisinde çıkarılması.....	61
Görsel 4.4. Kalıplar için kullanılan fırın.....	61
Görsel 4.5. Kalıpların fırın içerisindeki görüntüsü.....	61
Görsel 4.6. Deneylerde kullanılan camlar	62
Görsel 4.7. Camların küçük boyutlarda kesilmiş hali.....	62
Görsel 4.8. Tavlama sıcaklığı ölçme aleti camların ölçü sırası.....	63
Görsel 4. 9. 1 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 470°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	68
Görsel 4.10. 3 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 470°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri...	69
Görsel 4.11. 5 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 470°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri...	70

Görsel 4.12.	1 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 510°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	71
Görsel 4.13.	3 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 510°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	72
Görsel 4.14.	5 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 510°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	73
Görsel 4.15.	1 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 550°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri....	74
Görsel 4.16.	3 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 550°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri....	75
Görsel 4.17.	1 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 550°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	76
Görsel 4.18.	1 cm et kalınlığındaki Ornella şeffaf camının 430°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	77
Görsel 4.19.	3 cm et kalınlığındaki Ornella şeffaf camının 430°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	78
Görsel 4.20.	5 cm et kalınlığındaki Ornella şeffaf camının 430°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	79
Görsel 4.21.	1 cm et kalınlığındaki Ornella şeffaf camının 470°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	80
Görsel 4.22.	3 cm et kalınlığındaki Ornella şeffaf camının 470°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	81
Görsel 4.23.	5 cm et kalınlığındaki Ornella şeffaf camının 470°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	82
Görsel 4.24.	1 cm et kalınlığındaki Ornella şeffaf camının 510°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	83
Görsel 4.25.	3 cm et kalınlığındaki Ornella şeffaf camının 510°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	84
Görsel 4.26.	5 cm et kalınlığındaki Ornella şeffaf camının 510°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	85

Görsel 4.27. 1 cm et kalınlığındaki Ornella şeffaf camının 550°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	86
Görsel 4.28. 3 cm et kalınlığındaki Ornella şeffaf camının 550°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	87
Görsel 4.29. 5 cm et kalınlığındaki Ornella şeffaf camının 550°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri.....	88
Görsel 4.30. 1 cm et kalınlığındaki Ornella mavi camlarının 550 °C'de 15' 60' ve 600 ' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkartılmış hallerini ve polariskop görüntüleri	89
Görsel 4.31. 3 cm kalınlığındaki Ornella mavi camlarının 550°C'de 15', 60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkartılmış hallerini ve polariskop görüntüleri	90
Görsel 4.32. 5 cm kalınlığındaki Ornella mavi camlarının 550°C'de 15' 60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkartılmış hallerini ve polariskop görüntüleri	91
Görsel 4.33. 5 cm kalınlığındaki Ornella mavi camının 550°C'de 600 dakika tavlama işlemi uygulandıktan sonra tekrar ısıtma işlemi uygulanarak 550°C'de 120 dakika tavlandıktan sonraki polariskop görüntüsü	92
Görsel 4.34. 2 cm'lik camların tavlama işlemi öncesi görüntüleri	93
Görsel 4.35. 550 °C'de 0' tavlama işlemi uygulama öncesi görüntüleri (1 ve 2) 550 °C'de 0' tavlama işlemi uygulama sonrası görüntüleri (1a ve 2a).....	94
Görsel 4.36 550 °C'de 120' tavlama işlemi uygulama öncesi görüntüleri (3 ve 4) 550 °C'de 120' tavlama işlemi uygulama sonrası görüntüleri (3a ve 4a).....	95

Görsel 4.37. 550 °C’de 240' tavlama işlemi uygulama öncesi görüntüleri (5 ve 6) 550 °C’de 240' tavlama işlemi uygulama sonrası görüntüleri (3a ve 4a)	95
Görsel 4.38. 550 °C’de 480' tavlama işlemi uygulama öncesi görüntüleri (7 ve 8) 550 °C’de 480' tavlama işlemi uygulama sonrası görüntüleri (7a ve 8a).....	96
Görsel 4.39. Cam çubuk yönteminde kullanılacak camların fırınlanma öncesi kalıp içerisindeki görüntüleri.....	97
Görsel 4.40. İnce cam çubuklara tavlama sıcaklıkları için ısıtma işlemi uygulanıyor.....	98
Görsel 4.1. Mavi Camların denemesi.....	99
Görsel 5.1 Ornella renksiz şeffaf camı ile yapılan eserin polariskop görüntüsü.....	105
Görsel 5.2 Glasma 705 camı ile yapılan eserin polariskop görüntüsü.....	107
Görsel 5.3 Ornella mavi şeffaf camı ile yapılan eserin polariskop görüntüsü.....	107

GİRİŞ

Cam teknolojisinin gelişmesi ve cam tekniklerinde yeni tekniklerin bulunması ile tavlama süreçlerinde de farklılıklar oluşmuştur. Tavlama fırınlarının ise kullanılmaya ne zaman başlandığı, ilk tavlamanın bilinçli mi yapıldığı bilinmemektedir. Geçmiş dönem tavlama fırınlarına ait görüşlere arkeolojik kazılardan, minyatürlerden ve resimlerden görülerek bu kısım ile ilgili bilgiye sahip olmaktadır.

Tavlama süreci, cam için önemli bir adım olmasına rağmen her zaman arka planda kalmıştır. Tavlamanın nasıl yapıldığı konusunda ulaşılan kaynaklarda çok fazla bilgi bulunmamaktadır. Bu tezde, cam tekniklerinde tavlama işleminin nasıl ve neye göre yapılması gerektiği anlatılmak istenmiştir. Cam tavlama işleminde nelere dikkat edilmeli, nasıl bir tavlama işlemi yapılmalı, hatalı bir tavlama işleminde nelerle karşılaşılacağı anlatılmıştır. Satın alınan camların tavlama sıcaklığı ve süresi bilinmemesinden kaynaklı birçok cam sanatçısı tavlama ile ilgili sıkıntı yaşamaktadır. Bu yüzden Glasma 705 ve Ornella camlarının deneylerinin yapıp tavlama sıcaklığı ve kalınlıktan kaynaklı farklı sürelerde tavlama işleminin yapılması gerektiği tez kapsamında incelenmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan araştırmalar sonucunda camların nasıl tavllanması gerektiği ve hatalı tavlanan camlar için nelerin yapılabileceği deneysel olarak gösterilmiştir. Bu yapılan çalışmalar tavlama sıcaklığı ve süresi bilinmeyen farklı camlarla da aynı şekilde uygulanabilir.

Tez çalışması bu nedenle cam sanatçıları için önemli bir kaynak olarak sunulmuştur.

1. CAM TANIMI VE CAM TARİHİ

1.1. Camın Tanımı

Cam, “Soda veya potas katılmış silisli kumun ateşle eritilmesiyle yapılan sert, saydam ve kırılğan cisim”¹ olarak Türk Dil Kurumunun Güncel Türkçe sözlüğünde tanımlanmaktadır. Ancak camın birden fazla tanımı bulunmaktadır, bunlar;

“Cam, yüksek sıcaklıkta eriyik halden hızlı bir biçimde oda sıcaklığına soğutulan ve bu esnada kristalleşme göstermeyen amorf (yarı düzenli yapıda)bir malzemedir”.²

“Cam, ısıtıldığı zaman yüksek derecede akıcılık kazanan, akıtıldıkça ve soğutuldukça katılaştıran, en sonunda da durgunlaşan inorganik bir sistemdir”.³

“Cam soğurken kristalleşmeksizin donan inorganik bir eriyik üründür”.⁴

“Camın temel hammaddeleri silis (kum-silisyumdioksit-SiO₂), potas potasyumkarbonat - K₂CO₃), soda (sodyumkarbonat-Na₂CO₃) ve kireçtir (kalsiyumkarbonat-CaCO₃) bu bileşikler yüksek sıcaklıkta eritildiğinde cam oluşmaktadır”.⁵

“Cam, bir maden olarak tanımlanır. Ama diğer madenlere göre de çok önemli bir değişikliği vardır. O da erime noktası olmasıdır”.⁶

Camın tanımı farklı kaynaklarda çeşitli anlatımlarla yapılmıştır. Yukarıda belirtildiği gibi camın diğer pek çok malzemeden farkı hem “erime noktası”nın hem de “yumuşama noktası”nın olmasıdır ki bu özelliği nedeniyle düşük sıcaklıkta (oda sıcaklığı-yumuşama sıcaklığı arasında) katı malzeme özelliği göstermektedir. Bulunduğu ortamın sıcaklığı yükseltildiğinde yani yumuşama sıcaklığından ergime sıcaklığına doğru yaklaşıldıkça, cam giderek sıvılaşan, akıcı bir madde halini alır.

Cam harmanı doğru miktarda hammaddeler kullanılarak bir araya getirildiğinde istenilen özellikte cam elde edilecektir. Bu harmanın içerisinde temel olarak kum, soda ve kireç bulunur. “Normal bir camın karışımında yaklaşık olarak %72 silis, %15 soda ve potas, %13 kireç; kristal camda ise yaklaşık %48 silis, %24 soda+potas, %28

¹http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bts&arama=kelime&guid=TDK.GTS.5c470803bfa8e6.74779634 (Erişim Tarihi 22.1.2019)

² B. Karasu ve N. Ay (2000).*Cam Teknolojisi*, Ankara; Mili Eğitim Basımevi. s. 6

³ Ö. Küçükerman (1997). *Eczacıbaşı Sanat Ansiklopedisi*, cilt:1, Yem yayınları, s.312

⁴G. Serdar (1996). *Endüstriyel Cam Şekillendirme Yöntemleri*, İstanbul, M.Ü.G.S.E., Sanatta Yeterlilik Tezi, s.2

⁵ Ü. Özgümüş (2000). *Anadolu Camcılığı*, İstanbul, PeraTurizm Yayınları, s.3

⁶ <https://www.bilgiustam.com/camin-icadi-ve-tarihcesi/> (Erişim Tarihi 6.2.2019)

kurşunoksit bulunur”.⁷ Camın içerisine koyulan silis (silisyum dioksit), soda (sodyum karbonat), kireç (kalsiyum karbonat) bunlar doğada bulunan malzemelerdir. Kaynaklarda da belirtildiği gibi “Yalnız SiO_2 tek başına ergitmeye kalkıldığı zaman 2000°C ’nin civarında bir sıcaklık gerekmektedir ve erirken de kurşun gibi birdenbire erimektedir”.⁸ Silisyum dioksit’in ergitilmesi için çok yüksek sıcaklıkların gerekmesi nedeniyle camın içerisine soda konularak, camın düşük sıcaklıkta ergitilmesi sağlanmıştır. Bu ilavenin en büyük sebebi camın odun gibi katı yakıtlarla çıkılabilecek sıcaklıklarda ergitilebilmesinin gerçekleştirilmesidir.

Cam üretimi yapılırken yukarıda belirtildiği gibi bazı oksitler kullanılır. Bunlar cam iskeletini (ağ –şebeke) oluşturan oksitler, cam oluşumunu kolaylaştıran oksitler, şartlı cam yapıcılar olarak üç bölüme ayrılır.

“Cam iskeletini oluşturan oksitler; SiO_2 (Silisyum dioksit – silika - silis), B_2O_3 (Bor oksit-diborantrioksit), As_2O_3 (Arseniktrioksit), Sb_2O_5 (Antimuanpentaoksit), P_2O_5 (Fosfor pentaoksit), GeO_2 (Germanyum oksit)’tir.

Cam oluşumunu kolaylaştıran oksitler (modifiye ediciler); Sc_2O_3 (Skandiyum oksit), La_2O_3 (Lantanyum oksit), Y_2O_3 (Yitriyum oksit), SnO_2 (Kalay oksit), Ga_2O_3 (Galyum oksit), PbO_2 (Kurşun dioksit), MgO (Magnezyum oksit-Magnezya), Li_2O (Lityum oksit), ZnO (Çinko oksit)’tir.

Şartlı cam yapıcılar; TiO_2 (Titan oksit-titanya), PbO_2 (Kurşun dioksit), ZnO (Çinko oksit), Al_2O_3 (Alüminyum oksit-alümina), ThO_2 (toryum oksit), BeO (Berilyum oksit), ZrO_2 (Zirkonyum oksit-zirkonya), CdO (Kadmiyum oksit), V_2O_5 (Vanadyum pentaoksit), TeO (tellür monoksit)’tir.”⁹

Camın yapısında bulunan tüm oksitler camın özelliklerine etki eder. Cam harmanının içerisinde silika var ise içerisine sodyumda konulmalıdır. Bunun sebebi ise silikanın ergime sıcaklığının yüksek olmasıdır. İçerisine %26 oranında sodyum ilave edilerek silikanın ergime sıcaklığının düşürülüp camın daha düşük sıcaklıkta ergitilmesi ile elde edilen cama “Su Camı” denir.

“Camı oluşturan tüm hammaddeler 1500°C ’de ergitilerek cam elde edilir. Kumun içerdiği yabancı maddelerden dolayı camda meydana gelen renklenmeyi önlemek için

⁷ Özgümiş, a.g.k., 2000

⁸ R. Ormancı,(1990)*Cumhuriyet Dönemi Türk Camcılığı*, I. Uluslararası Anadolu Cam Sanatı Sempozyumu (26-27 Nisan 1988), TŞCFAŞ Belge ve Bilgi Merkezi, İstanbul, s. 95

⁹ Karasu- Ay, a.g.k., 2000

ağartıcı olarak az miktarda manganez oksit (MnO) veya nikel oksit (NiO) eklenir”.¹⁰ Ancak camı renkli istiyorsak cam harmanının içerisine farklı oksitler koymamız gerekmektedir. Bu metal oksitler ve cama verdikleri renkler aşağıdaki gibidir;

“Bakır oksit- yeşil, turkuaz, mavi
Demir oksit - yeşil, mavi, sarı
Kobalt oksit -Koyu mavi, açık mavi, mor
Magnezyum oksit - Mor, eflatun
Gümüş oksit - sarı
Altın -Pembe, kırmızı
Mangan oksit -erguvan, mor
Çinko, fosfat, kalay oksit - beyaz ve opal
Antimon -mat, kırmızı
Kurşun oksit -Saydam, parlak cam”.¹¹

19 y.y ‘da ise camın gelişmesi ile camın içerisine konulan oksitler ve onların etkileri şu şekildedir;

“Krom (Cr)- Sarı, yeşil
Nikel (Ni)- Potas camından menekşe rengi, Soda camında pembe
Selenyum (Se)- Soda camında pembe, kurşun camında amber
Titanyum (Ti)- Sarı, kahverengi
Uranyum (U)- Yeşilimsi sarı”.¹²

Cam inorganik bir madde olduğundan günümüzde hammaddelerden oluşan harman hazırlanarak cam elde edilir. Eski zamanlarda da olduğu gibi doğada saf halde bulunan iki çeşit malzeme cam hammaddesi olarak kullanılabilmektedir. Bunlardan biri obsidyen diğeri ise neceftir.

Obsidyen: Volkanik patlamaların sonucunda lavların soğumasıyla meydana gelmiştir. “Parlak siyah renkte volkanik bir maddedir. (Görsel 1.1) Çoğunlukla yarı saydamdır. Genellikle siyah renkte olan obsidyenin yeşil, kırmızı veya kahverengi olanları da vardır. Plaka halinde kırılabilen bu taş, Prehistorik devirlerde ok, mızrak ucu, bıçak, sonraki devirlerde ise ayna vb. eşyaların yapımında kullanılmıştır”.¹³

¹⁰ Özgümüş, **a.g.k.**, 2000

¹¹ Ü,Özgümüş Canav. (2013). *Çağlar Boyu Cam Tasarımı*, İstanbul, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, s.2

¹² Canav, **a.g.k.** 2013,s.3.

¹³ Ş. Atik, (2004). *M.Ö. I. Binde Anadolu’ da Cam Üretimi ve Tasarımı*, Doktora Tezi, İstanbul; Mimar Sinan Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, s.21.



Görsel 1.1. *Obsidyen Taşı*

(<https://eodev.com/gorev/4628986>, Erişim Tarihi: 21.04.19)

Necef (Kaya Kristali): Doğal kuvars olarak bilinmektedir. Kaya kristali saydam bir biçimdedir.(Görsel 1.2) Doğal güzelliği sebebiyle daha çok yüzeyi taşla aşındırılarak süs eşyaları yapımında Neceftaşından yararlanılmıştır. Bu kaya kristalleri, kristal yapısı gereği altıgen prizmalar biçiminde olup, iri kuartz kristallidir.¹⁴



Görsel 1.2. *Necef Taşı*

(<https://akiktasi.net/necef-tasi-nedir-necef-tasinin-faydalari-nelerdir/>, Erişim Tarihi: 21.04.19)

Bunların birçoğunu arkeolojik kazıların sonucunda görmemiz mümkündür. Bu kalıntılar bizlere o zaman diliminde nelerin nasıl yapıldığını göstermektedir. “Anadolu’da yapılan kazılarda Troya’da kalıntılarının arasından çıkan aslan başı ve hitit heykelciği milattan önce kaya kristallerinin kullanıldığını göstermektedir”.¹⁵ (Görsel 1.3)

¹⁴A. Karşlıoğlu, (2007). *1950’den Günümüze Cam Heykel Sanatı*, Yüksek Lisans Tezi, İzmir; Dokuz Eylül Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, 2007. s.3

¹⁵ B. Kavaz(2011). *Tralleis Cam Fırınlarının Geleneksel Cam Fırınları İle Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum; Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, s.12



Görsel 1.3. *Kaya kristali ile yapılan Hitit heykeli*

(<https://www.sanatduvari.com/hitit-donemi-heykelleri>, Erişim Tarihi: 21.04.19)

1.2. Cam Tarihi

Yüzyıllar boyunca camın nasıl bulunduğu nasıl uygulandığı merak konusudur. Bilinen ilk cam, yanardağın patlaması sonucu oluşan camsı yapıya sahip obsidyen adı ile bilinen bir malzemedir. Obsidyenler yanar dağ patlamaları, şimşek çakması sonucunda kayaların eriyip ani soğumasıyla oluşur. Yerleşik yaşama geçmeden önce keskin yapıya sahip obsidyen el aletleri yapımında kullanılmıştır. Geçmişte, Obsidyen'in sert olmasından kaynaklı mızrak ucu, ok ucu, bıçak ve çeşitli kesme araçları yapılmıştır.¹⁶ Teknolojinin gelişmesi ile obsidyen ve necef'in yerine yapay cam kullanılmaya başlanmıştır. Doğada bulunup cam hammaddesi olarak kullanılan malzemelerden olan obsidyen ve necef'ten sadece küçük süs eşyaları yapılmıştır.

Camın bulunuşunun efsanevi bir hikayesi de vardır. Tarihçi Pliny'ye göre bir ticaret gemisindekiler kıyıya çıkarlar. Ertesi gün, yaktıkları ateşin külleri arasında parlak saydam cam parçaları bulurlar.¹⁷ İlk cam, başka bir söylentiye göre de çöle yıldırım düşmesi sonucu oluşmuştur. Bir başka söylentiye göre de cam "altın elde etmek amacıyla altın tenörlü quarts kumunun, kireç, soda veya potas gibi maddelerle birlikte ergitilmesi sırasında, bir yanılma sonucu bulunmuştur".¹⁸

Camın bulunması hususunda en akla yakın çözüm seramik sanatı ile bağlantılı olarak ortaya çıkmış olmasıdır. En eski cam kaplar seramik eşyalarla büyük benzerlik gösterirler. Cidarın kalın olması, camın yarı geçirgen özellik ve üzerlerini süsleyen

¹⁶Karşlıoğlu, **a.g.k.**, 2007

¹⁷ Karasu- Ay, **a.g.k.**, 2000,

¹⁸ "Paşabahçe Cam Zevki", Tarihsiz Tanıtım Broşürü

motifler seramik işçiliğiyle büyük paralellik arz etmektedir.¹⁹ Yapılan kazılardan da anladığımız kadarıyla seramikten cama geçiş olmuştur.

Seramikte kullanılan sırların camı yapısı nedeniyle camın gelişmesinin seramiğin gelişmesiyle ilişkili olduğu söylenebilmektedir. Arkeolojik kazılar sonucunda Mezopotamya’da M.Ö 4 binyılında camın ilk kez şeffaf sır olarak ortaya çıktığını görmekteyiz.²⁰ “Mısırlıların geleneksel seramik ve sırlama sanatından camcılığa geçtikleri söylenir. Seramik sırnın parçalanarak eritildiği, akıcı bir biçim aldığı zaman da cam gibi biçimlendirildiği sanılmaktadır”.²¹

Camın ilk olarak milattan önce 3000-5000 yılları arasında Mezopotamya ve Mısır’da kullanıldığı bilinmektedir. En eski cam kalıntıları Mısır’da bulunmuştur. Mısır’da camın önemli olduğunu Tell el-Amarna kenti kralının diplomatik yazışmalarında camın konu edilmesinden anlaşılmaktadır.²²

Tell el-Amarna’da cam üretiminin yapıldığını sarayın yıkıntıları arasından çıkan 750’den fazla cam parçadan anlayabildiğimiz gibi Mısır’daki Tell Barak’ta da camın bulunması Tell el-Amarna dışında da cam üretiminin yapıldığının göstergesidir.²³

“Üzerinde yapılaş tarihi yazılı en eski cam, M.Ö. 1551–1527 yıllarında yaşayan Firavun Amenhotep’e ait bir boncuk olup İngiltere’de Oxford Müzesinde bulunmaktadır”.²⁴ Bazı kaynaklarda firavunun bir gözünün de camdan olduğu söylenmektedir. Cam sanatında en eski bulgular minik firavun kafalarıdır. Pate de verre tekniğine yakın üretilmişlerdir”.²⁵ “II. Amenhotep yaklaşık M.Ö. 1426’dan 1400’e kadar Mısır’a hükmetmiştir. Camdan yapılmış bilinen en eski portrelerden biri olan görsel 4’teki çok küçük heykel, muhtemelen II. Amenhotep’e aittir. Parlak mavi camdan kayıp mum yöntemiyle kalıbı alınan heykelin, hava koşulları nedeniyle günümüzde rengi soluk kahverengiye dönüşmüştür. Yüksekliği 4 cm. yaklaşık M.Ö.1426-1400 tarihlerine, Mısır’a kayıtlı heykel, 79.1.4 koduyla Corning Cam

¹⁹ Canav, **a.g.k.**,2013, s.31

²⁰ E.Taştemür(2013) *MÖ.7 Yüzyıldan 4. Yüzyıla Cam Kaseler*, doktora tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, , s.1

²¹ Ö.Küçükerman(1978) *Cam ve Çağdaş Tasarım İçindeki Yeri*, İstanbul; Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş yayınevi, s. 43

²² E.Taştemür(2017) *Arkeolojik Veriler Işığında Camın Tarihsel Süreci*, Trakya üniversitesi edebiyat fakültesi dergisi, cilt :7 sayı:13, s.67

²³ Taştemür, **a.g.k.**,2017(b)

²⁴ Kavaz, **a.g.k.**,2011

²⁵ <https://www.beyaztarih.com/ansiklopedi/cam> (Erişim Tarihi: 06.02.2019)

Müzesi'nde sergilenmektedir".²⁶ (Görsel 1.4) M.Ö.1426-1400 tarihlerine, Mısır'a kayıtlı heykel, 79.1.4 koduyla Corning Cam Müzesi'nde sergilenmektedir".²⁷ (Görsel 1.4)



Görsel 1.4. II.Amenhotep heykeli

(<https://www.cmog.org/artwork/portrait-king-amenhotep-ii>, Erişim Tarihi: 21.04.19)

Mısır'da daha sonra turkuaz renklerde cam boncuklar yapılmaya başlanmıştır. Yapılan bu camlara kuvars kumu ve alkali karışımı uygulanarak fayans görünümlü sırlı camlar üretilmekteydi. Mısır'da bilinen bu cam hamuru aslında “SiO₂ (kum), B₂O₃, Al₂O₃ gibi oksitlerle CaCO₃, Na₂CO₃, Na₂SO₄ gibi karbonat veya sülfatların uygun karışımlarının tekne fırınlarında ergitilmesiyle elde edilirdi”.²⁸

Yapılan bu boncuklar uzak doğu ülkelerine Akdeniz kıyılarına ihraç edilmiştir. Yapılan bu boncuklar çoğunlukla kadınlar için üretilmiştir. “Camdan yapılmış bilezikler, kopçalar ve renkli boncuklardan oluşan kolyeler vardır. Ayrıca boncuk, giyim eşyası yapmak için kullanılıyordu. Küçük boncuklar ipe dizilerek bir çeşit kumaş meydana getiriliyordu”.²⁹

Kakmalı, mineli beyaz noktalı bilezikler günümüzde Bohemya, Almanya, İngiltere'ye kadar ulaşmıştır.

“M.Ö. 5500-3100 arasına rastlayan Mısır Sülaleler Öncesi Döneminde Mısır çamuru (Egyptian Paste) denilen, kuvars tabanlı, soda-silikat karışımlı bir bünyeye sahip, kendinden sırlı (öz sırlı) seramik-cam arası bir malzeme kullanılmıştır ki bu malzemenin bünyesi ve üretim aşamasıyla camınki arasında büyük benzerlikler vardır. Andrew Boyce adlı bir Mısırbilimci; Mısır Çamuru fırınları ile cam fırınlarının çok

²⁶ D.Whitehouse (2012), *Glass, A Short History*, The British Museum Press, London, s.20

²⁷ D.Whitehouse (2012), *Glass, A Short History*, The British Museum Press, London, s.21

²⁸ <https://www.frmtr.com/genel-kultur-vatandaslik/713015-cam-nedir-camin-tarihi.html> (Erişim Tarihi: 06.02.2019)

²⁹ G. Sümer (2007).*Cam Teknolojisi*, Eskişehir, çağrı ofset. s.2

yakın yerlerde olduğunu ortaya çıkarmıştır”.³⁰ Bu eserlerin yanı sıra birde firavun için farklı teknikler ile yapılan eserler mevcuttur.

Mısır’dan sonra cam işçiliği Suriye’de daha yaygın hale gelmiştir. Bunun en büyük göstergesi cam üfleme tekniğinin Suriye’de bulunmasıdır. Üfleme yöntemi ile birlikte camın günlük yaşamda kullanılması yaygınlaşmıştır. Bu üretilen camlar dekoratif amaçlıdır ve firavunlar zamanında görülen pek çok eser günlük yaşamda artık cam objeler olarak kullanılmaya başlanmıştır. “M.Ö. 15.yy.’da Mısır Firavunu III. Tutmosis imparatorluğunun sınırlarını Suriye’ye genişletmiş ve Mezopotamya camcılarını Mısır’a getirmiştir. Mısır’daki cam ustaları böylece kısa sürede kendi cam yapım tekniklerini geliştirerek kendilerine özgü cam eşya tiplerini ortaya koymuşlardır”.³¹

Roma döneminde cam Avrupa’ya yayılmış ve üretimi yapılmaya başlanmıştır. Daha sonraları düz cam tekniğini bulan Romalılar camı kap yapmakta kullansalar da daha sonraları pencere yapmakta kullanmışlardır. Pencere camının arkasını metal, altın, gümüş folyo ile kaplayıp sırlayıp aksedici hali ile kullananlarda Romalılardır.³² “İmparatorluğun bütün bölgelerinde bol miktarda cam üretilmiş, pencere camı, büyüteç, yemek takımları, aynalar vs. yapılmaya başlamıştır”.³³

“Babil’e ait bir kil tablanın üzerine bilinen ilk cam reçetesi kazınmıştır: 60 ölçü kum, 180 ölçü alg ve deniz yosunu külü, 5 ölçü güherçile ve 3 ölçü tebeşir (kireçtaşı)”.³⁴

“Endüstri devrimi ile birlikte cam alanında özellikle teknik bakımdan önemli gelişmeler yaşanmıştır. Camın kimyasal kompozisyonunda değişiklikler yapılarak farklı biçimlendirme tekniklerine uygun camlar geliştirilmiştir. Bununla birlikte cam biçimlendirme teknikleri de gelişim göstermiştir.”³⁵

Venedik ve Murano’da cam sanayi 16. ve 17. yüzyıllara kadar çok sıkı denetim altında tutulmuş, cam atölyeleri tam bir koruma altına alınmış olmakla beraber bu

³⁰ A. T. Özen ve G. Alpman(1998).*Mısır Uygarlığı Cam Sanatı*, Sanatsal Mozaik Dergisi, s. 67-68.

³¹ C. Zerwick (1990). *A Short History Of Glass*. New York: The Corning Museum of Glass. s.12.

³² <http://www.kulturvarliklari.gov.tr/TR-44944/antik-cam-tarihi.html> (Erişim Tarihi 25.2.2019)

³³ S. Başaran(2000), *Pişmiş Toprak ve Cam Eserlerin Konservasyon ve Restorasyonu*, İstanbul: Grapix Yayınları,60.

³⁴ <https://www.frmtr.com/genel-kultur-vatandaslik/713015-cam-nedir-camin-tarihi.html> (Erişim Tarihi 25.2.2019)

³⁵ M. Aydın ,(2016) *Cam Sanatında Fırında Cam Biçimlendirme Yöntemlerinde Kullanılan Refrakter Kalıp Karışımları ve cama etkileşimi*, yüksek lisans tezi, Eskişehir, Anadolu üniversitesi, sosyal bilimler enstitüsü Aydın, a.g.k, 2016

tarihten itibaren cam ustaları Avrupa'nın çeşitli ülkelerine yayılmaya başlamıştır. Böylelikle Floransa, Avusturya, Almanya, Fransa, İsveç, İspanya, Belçika, Hollanda ve İngiltere'de Venedik tarzı “Façon De Venice” camlar üretilmeye başlamış, bu değişik ülkelerden gelen etkilerle yenilikler de ortaya çıkmıştır. Elmas kullanılarak cam dekorasyonu (elmastraş) tekniği ve aventurin tekniği bu dönemde ortaya çıkmış yeniliklerdir”.³⁶

“17. yüzyıl sonları 18. yüzyıl başlarına doğru, Venedik cam alanındaki üstünlüğünü kaybetmeye başlamış, Bohemya önemli bir cam merkezi haline gelmiştir. Bohemya camları barok tarzı kesme ve oymalarıyla dikkat çekmektedir. Bölge yaklaşık olarak 20. yüzyılın başlarına kadar önemli bir cam merkezidir.”³⁷

“Endüstrinin sanatı yok etme fikrine tepki olarak doğan Art Nouveau, konularını doğadan almıştır. Biçimleri incelterek, uzatmıştır. Asimetrik bir düzene hakim olan bu akım, bitkisel ve geometrik biçimler, insan ve hayvan figürleri ile gelişimini sürdürmüştür. Amerika'dan Louis Comfort Tiffany, Fransa'dan Emille Galle ve Rene Lalique, bu anlayışın öncülerindendir.”³⁸

19.yy. Türk camcılığında bir canlanmanın görüldüğü dönemdir. İstanbul Beykoz'da cam atölyeleri kurulmuştur. Buraya zamanla yabancı ustalar da çalışmak üzere getirilmiş, ayrıca Bohemya ve Fransa'dan da Türk beğenisine göre üretilmiş cam eşyalar satın alınmıştır”.³⁹

Osmanlı Devleti'nin cam üretimi hakkındaki bilgileri III. Murad Döneminde, M.S. 1585 yılında, yazılan Surnâme-i Hümayûn'dan anlamak mümkündür.⁴⁰ 1623-1640 yılları arasında cam üreten atölyeler konusunda bilgi ise Evliya Çelebi'nin “Seyahatnâme”sinde anlatılmaktadır.⁴¹ Evliya Çelebi, İstanbul'da bulunan camcı esnafından ve yaptıkları renkli camlardan, üretim yerlerinden bahsetmiştir.⁴² Bir başka kaynakta ise İstanbul cam esnafları hakkında bilgi yer almaktadır. Bu bilgi Süleymaniye

³⁶ Ö. Küçükerman(1998). *Türk Cam Sanayi ve Şişecam*, İstanbul: Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. yayınevi,s.22

³⁷ Aydın, **a.g.k.**, 2016

³⁸ Karşlıoğlu, **a.g.k.**, 2007

³⁹ Canav, **a.g.k.**, 2013.

⁴⁰ Ü. CANAV(1986) *Osmanlı Batı İlişkilerinde Camın Yeri*, Türkiyemiz Dergisi, s. 5.

⁴¹ Özgümüş, **a.g.k.**, 2000

⁴² E. Taştür.(2017) *Harput iç kale kazısı cam fırınlarına ait kazılar*, SDÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, sayı:41,s.70

Camii yapılırken kaydedilmiştir, inşaat defterinde; camcılarının sayısı, isimleri, fiyatları, formları ve renkleri hakkında detaylı bilgiler yer almaktadır.⁴³

Camın kronolojik tarihine bakıldığında camın gelişim sürecini daha iyi anlayabiliriz. Cam kronolojisi şu şekildedir;

“M.Ö.1 Milyar ve Sonrası Volkanlarda obsidiyen oluşumu.

M.Ö. 3000 İnsanların cam çalışmalarının yaklaşık başlangıcı.

M.Ö. 2600 Mezopotamya’da, bilinen en eski camların ortaya çıkışı.

(Akadlar Dönemi).

- Fırın yapımı boncuklar ve camısı, camla kaplanmış nazar boncukları.

M.Ö. 1500 Cam yapımının mükemmelleşmesi.

- Odun pişirimli ilk değerli taşların ve bilinen ilk içi boş eşyanın üretilmesi.

M.Ö. 1400 Cam dökümünde, (kayıp mum) tekniği ve kuma döküm yönteminin kullanımı.

- Tel-el-Amara Cam Fabrikasının açılması.
- Ortadoğu boyunca cam külçe ticareti yapılması. (M.S. 18. yüzyıla kadar devam etti)

M.Ö. 1300 Mezopotamya ya da Judea da cam mozaik yapımı.

(Judea: Batı Şeria’da bir bölge)

- Mısırlıların, Mezopotamyalılardan/Judealılardan camı öğrenmeleri ve karşılıklı cam ticareti yapmaları.
- Sofistike renk teknolojisinin gelişimi.

M.Ö. 1200 Artık içi boş eşya (çoğunlukla iç kalıp kullanılarak şekillendirme) üretiminin iyice oturması.

- Mısırdaki cam şekillendirmede pres ve kalıp kullanılması.

M.Ö. 1000 Mısır ve Mezopotamya’da şeffaf camın bulunması.

- Çin’de camın geliştirilmesi.

M.Ö. 600 İran camının ortaya çıkması. (Karakteristik özelliği derin oymadır.)

M.Ö. 400 Mısır camının genişlemesi, serpilmesi.

- Hint camının gelişmesi.
- Cam çubukların çalışmalarda uzun süreli kullanılması.

⁴³ N. Özkul Fındık(2007)*Son Dönem Osmanlı Cam İmalatı Sektörü Oluşumu ve Avrupa Etkisi*, Dini Araştırmalar, cilt:10, sayı: 28, s,165

M.Ö. 250 Cam çeşitliliğinin doruğa ulaşması.

M.Ö. 230 Çince oyulmuş cam rakamlar. (Bilinen ilk Japon camı)

M.Ö. 200 İskenderiye, elit, seçkin cam için başlıca ticaret merkezidir.

M.Ö. 70 Kafes şeklinde oymalı bir kabuğa sahip cam kap, üretilmesi.

M.Ö. 50 Üfleme piposunun bulunması. Muhtemelen Suriye’de bulunmuş, dâhice bir buluştur, camda devrim yaratmıştır.

M.Ö. 20 Fırın çalışmalarında kalitenin kademeli düşüşü fakat üfleme dekorunun patlayıcı gelişimi.

- Bazı mimari uygulamalar ve ev eşyası üretimi.
- Roma’nın genişlemesi sonucunda bazı cam tarihleri kaybolması.

M.S. 1 Cam pencereler.

Suriyelilerin, serbest üfleme; İskenderiyelilerin, kalıp, kesme, kazıma (oyma), binçiçek (millefiori) ve “cameo”; Romalıların kalıba üfleme çalışmalarında uzmanlaşması.

M.S. 2 Minelemenin (emaylama -Suriyelilerin Keşfi-) İskenderiye’de son derece sofistike hale gelmesi.

M.S. 4-8 Çok özel gravür işlerin gelişmesi. Portland Vazosu

- Suriye’de deve formlu küçük üfleme şişelerin üretilmesi.

M.S. 80 İlk kaydedilen ve kanıtlanan cam ustası; Aristeas (Suriye).

M.S. 100 Sen ve Ren nehirleri civarı (Seine/Rhine) önemli cam merkezleri haline gelmesi.

(Cam, Suriyeli ustaları kullanan Romalılar tarafından yaygınlaştırıldı.)

M.S. 350 İlk dikroik (dichroic) cam form. Lycurgus kupası.

- Maya kültürüne ait tam bilenmiş obsidiyen bıçak.

M.S. 600 Üfleme ve savurma yöntemiyle, ortası kalın pencere camı üretilmesi.

- Suriyeliler M.Ö. 1’de bu tekniği kullanmışlardır.

M.S. 850 Almerian bölgesinde cam imalatı. (Almerian: İspanyanın bir bölgesi)

- Pota kullanımının erime sıcaklığını düşürmesi.

M.S. 1080 Augsburg Pencereleri, Almanya. (Augsburg Katedralinde vitrayın pencerelerde kullanımı)

M.S. 1100 Vitrayın cesur kullanımının gotik mimaride devrim yaratmaya olanak sağlaması fakat kap yapımının durgunlaşması.

M.S. 1120 Camcılarının göçü.

(Ormanlık alanların açılmasıyla birlikte (ağaçların kesilmesi) fırınları besleyebilmek için camcılar kısmen göç etmiştir.)

M.S. 1220 Venedik camcıları locasının oluşması. (Kökenleri daha erkendir.) Charte Katedrali.

(Özgün vitraylara sahiptir.)

- Camda manganez kullanımının berraklığı artırması.

M.S. 1250 Güneyde cam mozağin, Kuzey Avrupa’da vitray camlı pencerelerin kullanılmaya başlanması.

- La Sainte-Chapelle Paris. (Vitrayları ile ünlü)
- Japon camının gerilemeye başlaması.

M.S. 1291 Venedik camının Murano’ya taşınması.

M.S. 1320 Kalay ve civa kaplı Venedik aynaları. (Ren’den öğrenilen. -Rhine-)

M.S. 1350 “*Flashed Glass*” uygulaması. (Roma dönemi “cased glass” olarak da adlandırılır.)

M.S. 1380 Nokta şeklinde kazımlarla vitray yapımı.

(Elmas veya sert tungsten karbürden üretilen ince uçlu aletlerin cama vurularak küçük noktalar oluşturulmasıyla vitray yapımı)

M.S. 1500 Elmas kesim ve elmas kazımanın kullanımı.

- İsviçre’de mine (emaye) işler.
- Ren merkezinin düz camı geliştirmesi. (Büyük ölçüde silindir tekniği)

M.S. 1540 Biringuccio’nun “Pyrotechnia” kitabının yayınlanması.

M.S. 1550 Venedik laboratuvar malzemelerinde cam kullanımı.(Termometre vb.)

- Venedik dekoratif camının doruğa ulaşması.(Barovier gibi. mineli, altın yaldızlı hem işçilik hem cam kompozisyonu bakımından kaliteli camlar)
- İlk İsveçli cam ustalarının ortaya çıkması. (Venedik’ten)

M.S. 1580 Buzlu cam (krakle cam) üretimi.

M.S. 1600 Mikroskop, teleskop camlarının yapımı.

M.S. 1612 Antonio Neri’in “Cam Sanatı” kitabının yayınlanması.Nuremberg ve Potsdam’da (Almanya) Barok kazımacılarının ortaya çıkması.

M.S. 1615 İngiliz Kraliyet Bildirgesi ormanların yok olmasından dolayı, cam yapımında odun yakıtını yasaklar fakat odun 18. Yüzyılın sonlarına kadar çeşitli yerlerde yakıt olarak kullanılmaya devam eder.

M.S. 1648 Cam tıpa üretimi.

(Genellikle laboratuvarlarda kullanılan camlar için camdan tıpa, kapak benzeri ürün üretimi)

- Fransızların daha ucuz cam geliştirmesi.
- Hollanda da elmas uçla kazımacılığın başlaması.

M.S. 1660 Açık alevde şekillendirmenin yeniden canlanması.

- Avize, şamdan döneminin başlaması.

M.S. 1676 Kurşunlu camın Ravenscroft tarafından geliştirilmesi.(George Ravenscroft, İngiltere)

- Yakut kırmızısı camın Johann Kunckel tarafından yeniden mükemmelleştirilmesi.

(Potsdam, Berlin Almanya)

M.S. 1687 Fransa’da döküm plakanın icadı.

M.S. 1695 14. Louis tarafından Kraliyet Cam Fabrikasının kurulması.(Şu anda St. Gobain.)

M.S. 1760 Benjamin Franklin’in çift odaklı camları üretmesi. Stiegel (Henry Stiegel)

- Japon camının yeniden canlanması.

M.S. 1771 Kosta’da camda hidroflorik asit kullanımı.

M.S. 1788 Waterford Kristal (İrlanda da Fabrika)

(1788 yılında Kral 3. George’un karısı Charlotte Sophia için kristal takımı üreterek hediye ediyor. Tasarım çok beğeniliyor)

M.S. 1800 Yapay cam göz üretimi.

- Cam üretiminde, kömürün daha baskın bir yakıt olarak kullanılması.

M.S. 1830 İngiltere’de Pilkington Cam Fabrikası’nın cam üretimine başlaması.

- Amerika’da makinede preslenmiş cam üretiminin başlaması.
- Avrupa’da görkemli Bohemya camlarının etkilerinin görülmeye başlaması. Avusturalya’da elle üflenmiş camların ortaya çıkışı.

M.S. 1835 Almanya’da Josef Riedel tarafından uranyum camının (“annagrün”) geliştirilmesi.

M.S. 1840 Cam gümüşleme işleminin patentinin alınması.

M.S. 1851 Kristal Saray (Crystal Palace) Sergisi. (Gelecekteki cam çağının sinyallerini verdi.)

M.S. 1860 John Piper – İlk Avusturalyalı cam füzyon ustası.

- Avusturalya’da James Ferguson ve James Urie’nin cam tasarımlarıyla öne çıkmaları.
- Michael Faraday’ın borik oksitin kullanımını içeren bilimsel anlayışı geliştirmesi.

M.S. 1870 El yapımı küre ampul imalatı.

- Emilie Galle’nin cam tasarımlarıyla öne çıkması.
- Amerika’da, Tilghman tarafından kumlamanın patentinin alınması.

M.S. 1878 Louis Comfort Tiffany’nin tasarımlarıyla ön plana çıkması. Boda ve Schott firmalarının cam üretimleri.

- Yağ ve gazın daha baskın yakıt olarak kullanılmaya başlanması.

M.S. 1885 Camda Endüstri Devrimi’nin yoğun etkilerinin görülmesi.

- Elle üfleminin dekoratif sanat olarak ayakta kalması.
- Avusturalya’da vitray kap üretimi.

M.S. 1890 Dokulu cam tabaka üretimi için ilk makinenin yapılması.

M.S. 1902 Cam tuğla üretimi.

- Yüzdürme işleminin Amerika’da patentinin alınmasına rağmen geliştirilmemesi.

M.S. 1904 Steuben cam fabrikasının üretimleri. Frederick Carder’ın tasarımlarıyla ön plana çıkması.(Steuben Cam Fabrikası’nın kurucusu ve tasarımcılarından.)

- Steuben Cam Fabrikası’nın otomatik şişe üfleme makinelerin kullanmaya başlaması.

(Ortalama 1903’lü yıllarda Micheal Owens tarafından icat edilmiştir.)

- Ticari neon lambaların ortaya çıkışı.

M.S. 1908 Rene Lalique, Einar Forseth ve Cesar Klein’in cam alanında ön plana çıkmaları.

M.S. 1912 Maurice Marinot’un cam tasarımlarıyla ön plana çıkması.

- Orrefors Cam Fabrikası’nın, atölyelerini sanatçılara açarak, cam sanatında öne çıkması.
- Gabriel Argy Rousseau’nun şeker gibi iri taneli pate de verre işleriyle ön plana çıkması.

M.S. 1914 Ticari borasilikat cam üretimi.

- Fourcalt çekme cam üretiminin ortaya çıkışı. (Emilie Fourcalt’un düz cam üretme yöntemi geliştirmesi)

M.S. 1916 Cam üfleme tezgâhının kullanımına başlanması. (Açık alevde çalışanlar için)

- Graal camların yapımının başlaması. (Belçika)

M.S. 1920 Kurşunlu vitray yapımına alternatif olarak, füzyon yönteminin kullanılması. (Füzyon yöntemi yeni olmadığı halde).

- Sabit silindirler ve endüstriyel düz cam germe hareketli masasının cam üretiminde kullanımı.

M.S. 1925 Cam çağı devam ediyor. Gökdelenlerde cam kullanımının yaygınlaşması.

- Josef Drahonovsky'in Çekoslovakya'da, Simon Gate ve Edward Hald'ın Orrefors'da tasarımlarıyla ön plana çıkması.
- Corning cam fabrikasında, şeritli, armut ampul üretim makinesinin kullanılmaya başlanması.

M.S. 1930 İlk ticari cam fiber üretilmesi.

- Havayla ani soğutma buluşlarının, camın temperlenmesini (hızla soğutarak camı sertleştirmek) ticari açıdan mümkün hale getirmesi.
- Düz cam üretiminin süreklilik kazanması. Motifli dokunun canlanması.

M.S. 1935 “Koala” Fourcalt cam üretimi. Cam tuğlaların gelişimi.

Alan Sumner, Mervyn Napier-Waller, Norman St Clair Carter tarafından Avusturalya vitrayının geliştirilmesi.”⁴⁴

⁴⁴ A. Arcasoy (2014)Ders Notları

2. GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE TAVLAMA İŞLEMLERİNDE KULLANILAN FIRINLAR

2.1. Geçmiş Dönemde Tavlama

Geçmişte camı ergitmek, şekillendirmek ve onu kontrollü bir şekilde soğutmak pekte kolay bir süreç olmamıştır. Bunun en büyük sebebi cam eritmek için ulaşılması gereken sıcaklık ve buna bağlı olarak kullanılan yakıttır. Camın eritilmesi için çıkılması gereken sıcaklık 1340°C ve üzeri iken odun ateşinin bu sıcaklığa çıkması pek mümkün değildir. Odun ateşi ile ısıtılan camı sürekli aynı sıcaklıkta tutabilmek için daha kontrollü bir ocağa yani fırına ihtiyaç vardı. Cam fırını; cam üretmek için en gerekli unsurdur ve özellikle tavlama bölümüyle cam ürünün devamlılığı için vazgeçilmez bir eleman olmasına rağmen, her zaman arka planda kalmış, cam sanatı tarihi içinde çok da sözü edilmeyen bir konu olmuştur.⁴⁵ Fırında, dışarıdan içine yabancı maddeler gelmeden rahatça yüksek sıcaklıkta camı eritilebileceği bir bölme ve son olarak da şekillendirilen camların tansiyonu (gerilimi) alınarak yavaşça soğutulabileceği ve bu sırada tavlanabileceği bir sıcak hazne gerekmiştir.⁴⁶ Tüm bu gereksinimler sonucu cam ustaları, en erken dönemlerden itibaren, neredeyse günümüz fırınlarının çalışma prensiplerine benzer bir cam fırını icat etmeye zorlanmışlardır.⁴⁷

Cam fırınlarında erken dönemlerde kerpiç malzemesi ısıya dayanıklı olması nedeniyle kullanılmıştır.⁴⁸ Ancak eritme haznesinin ardından camın kontrollü soğuması için ne zaman ayrı bir hazne yapıldığı bilinmemektedir. Bu fırınların o dönemlerde yapılan tunç eritme fırınlarından esinlenerek yapıldığı düşünülmektedir. Birçok arkeolojik kazıda cam bulunmasına ve cam konusunda pek çok makale olmasına rağmen cam fırınlarından ve tavlama odalarından çok az bahsedilmiştir.

2.1.1. Mezopotamya fırınları ve tavlama

Mezopotamya cam ve tavlama odaları ile ilgili bilgiyi arkeolojik kazılarda bulunan tabletlerden de anlıyoruz ki;

“Bu çivi yazısı tabletlerde, “bît kûri” denilen cam atölyesinde 3 tip fırın olduğundan bahsedilmektedir. Birinci tip fırınlar; “kûri sâ abni” adındaki potalı fritleme fırınlarıdır. İkinci tip

⁴⁵ Kavaz, a.g.k., (2011)

⁴⁶ Kavaz, a.g.k., (2011)

⁴⁷ Başaran, a.g.k.,(2000)

⁴⁸ S. Kanyak(2009)*Cam fırınlarının tarihsel gelişimi*, Yüksek Lisans tezi, İstanbul: Mimar Sinan Güzel sanatlar üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü. s.18

fırınlar; “kûri ša siknat ênâtpel-ša” denilen zemin kısmında gözleri olan döküm fırınlarıdır. Tabletlerde geçen göz terimi daha geç dönemlerde İtalyanca occhio veya lumella kelimeleriyle karşılanmıştır ve bunlar üç katlı fırınların kat kuşakları arasında, tavlama veya baca kısmında bulunan dairesel açıklıkları ifade etmektedirler. “Kûri ša takkani” denilen üçüncü tip fırın ise bitmiş objelerin içine konulduğu bâb kûri isminde kemerli kapağı bulunan tavlama haznesi bulunan fırın odalarıdır.”⁴⁹

Mezopotamya da cam ergitme fırınların da yakıt olarak kavak kütüğü kullanılmıştır. Fırının içerisindeki sıcaklığı yüksek tutmak için kullanılan kütüklerinin ateşi 7 gün sürmekteydi.⁵⁰

Assur kralı Asurbanibal’ın saray kütüphanesinde bulunan tabletlerden fırının tavlama kısmından bahsetmektedir;

“Eğer yeşilimsi renkte (zaqindure renkli) cam üretmek istiyorsan oldukça ince on mina immanaklu taşı (kuvars) dövmelisin 15 mina naga bitkisinin kökü ve 1 2/3 mina beyaz bitki karıştırmalısın. Bu karışımın hepsini dört kapısı olan ve ateşe açılan soğuk fırına koyacaksın ve bu karışımı kapıların arasına yerleştireceksin. Güzel ve dumansız ateşin altın sarısı gibi parıldayana kadar bekle sonra fırınlanmış tuğlanın üstüne karışımı dök işte buna ‘zuku camı’ denir”.⁵¹

“Asurbanibal’ın Kütüphanesi’nden kalma tabletlerde cam üretim sürecinde üç aşamada üç farklı fırın kullanıldığından bahsedilmektedir;

1.Kuru Fırını (Kuru Kiln): Bu bir fritleme (ön ergitme) fırınıdır. Bu fırının 4 açıklığı vardır ve fritlenecek olan malzeme bu açıklıkların aralarına yerleştirilir. Roma seramik fırınlarını andıran *kuru* fırınının ana bölümü ateşin yakıldığı zemin kısmıdır, ısı buradan üst kısma ulaşır.

2. İkinci Tip Kuru Fırını (Reverburatory): Bu fırında camın yapılması için kullanılan kısım üzerinde gözetleme deliği bulunan bir kapı ile kapatılır bu fırının birinci tip kuru fırını ile arasındaki fark budur. Tabletlerde alevin bu kısmın içine doğru yükseldiğini gösteren bir bulgu yoktur.

3. Atunu Fırını: Bu fırın 1 haftayı bulan sürelerde ergitme yapılan bir fırındır, bir çeşit tank fırını olduğu düşünülebilir”.⁵²

⁴⁹, Kanyak, **a.g.k.**, (2009)

⁵⁰ Kavaz, **a.g.k.**, (2011)

⁵¹ E.Taştemür (2017), *Antik Cam Fırınları ve Anadolu Örnekleri*, Türkiye Bilimciler Akademisi Arkeoloji dergisi, 10.22520/tubaar.2018.22.012

⁵² R. J. Charleston (1978). *Glass Furnaces Through The Ages*, New York: The Corning Museum of Glass, 9-10.

2.1.2. Mısır fırınları ve tavlama

Cam üretim aşamaları ile ilgili bol miktarda bilgi bulunmaktadır. Cam eritmek için kullanılan fırınlardan ve tavlama odalarından kesin bir örnek yoktur. Bulunan bir fırının alt kısmında çok miktarda kömür külüne rastlanmıştır. “Fırın, yanlarda 1092 mm ile 1448 mm arasında değişen düzensiz bir kareydi. Başlangıçta 889 mm yüksekliğinde olduğu düşünülmektedir, ancak çatı tahrip edilmiştir. Kuzey rüzgarını alabilmesi ve rüzgar tarafındaki havanın çekilmesinin sağlanması için kuzey kapısı 737 mm yüksekliğinde 381 mm genişliğinde yapılmıştır güney kapısından ise içerideki havanın çıkışı sağlanmaktadır. Camın eritildiği potalar, derinlemesine ve 58-76 mm çapındadır. Uzun süreli ısıtma için 1100°C’nin altında sıcaklığa ulaşması muhtemel görünmektedir ve gerçek yüksek sıcaklığa ulaşamamış olması nedeni ile cam sürekli döndürülerek macunsu bir kıvamda işlendiği belirtilmiştir”.⁵³ Mısırdaki fırınlar ön ergitme ve ergitme kısmı olarak kullanılmıştır, arkeolojik kazılarda ise tavlama odaları ile ilgili bir kaynak yoktur.



Görsel 2.1. Tell el-Amarna’daki cam fırını

(Kanyak, 2009, Erişim Tarihi: 21.04.19)

2.1.3. Roma fırınları ve tavlama

Roma döneminde yapılan camların arkeolojik kazılarda bulunmamasının en büyük sebebi serbest üfleme tekniğinin keşfi ile birlikte cam ustalarının çok fazla cam üretimi yapmaları ve bu taleplerden dolayı cam ustalarının sabit atölyeler dışında gezici atölyelerde de cam üretimi yapmış olmalarıdır.⁵⁴ Sabit atölyelerde ve gezici atölyelerde

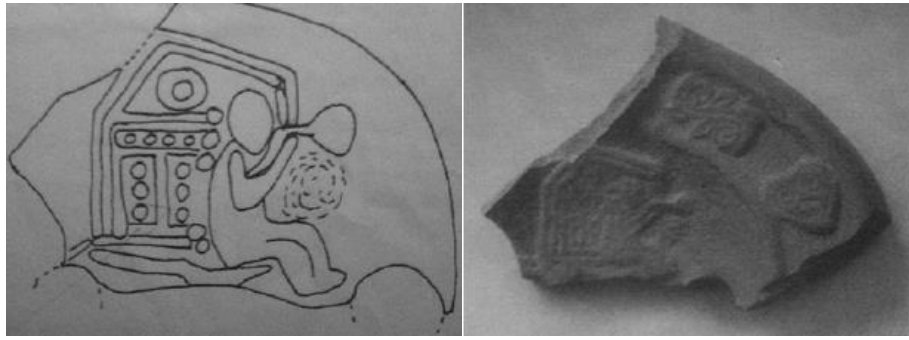
⁵³ S.Davison (2003).*Conservation And Restoration Of Glass*, Oxford: Butterworth-Heinemann, s.140

⁵⁴ Taştëmür, a.g.k., (2017)(a)

kırılan camları tekrar ergitip kullanmışlardır ve bu camların satışı da yapılmıştır.⁵⁵ Bunlarla birlikte üretim yapılan atölyelerin ve cam fırınlarının da yeri bilinmemektedir.

Romada bulunan cam fırınlarına ait ilk bilgiler ise;

“Kartaca’da (Tunus) yapılan arkeolojik kazılarda bulunan, M.S. 4. yüzyıla ait, pişmiş toprak bir kandil parçası üzerinde iki katlı tipik bir Roma cam fırını ve önünde oturur vaziyette cam üfleyen bir cam ustası figürüdür. (Görsel 2.2). Fırının orta kısmı, çalışma bölümü, en üstte görünen yuvarlak açıklığı da tavlama odası olduğu düşünülmektedir.⁵⁶



Görsel 2.2. Tunus- Kartaca’da bulunmuş, Roma cam fırını gösteren kandil parçası
(Kanyak, 2009, Erişim Tarihi: 21.04.19)

Roma’da geçmiş dönemlerde kullanılan fırınların günümüzde tekrar yapıldığı “Roman glassmakers” isimli projede tank tipi cam ergitme fırının tavlama odasının yapım aşamalarını göstermişlerdir. Bu fırın her ne kadar Görsel 2.2’ deki fırına tam olarak benzemese de üç fırında da tavlama odasının olduğu görülmektedir(Görsel 2.3, 2.4).

⁵⁵ A.T.Tek.(2005).*Antik Dönemde Anadolu’da Cam Üretimi*, The Ancient Time’s Glass Production in Anatolia, Eskişehir: Seres,s.116.

⁵⁶ B. Caron ve C. Lavoie(1997) Un Fragment de Lampe Représentant un Four Verrier, New York:The Corning Museum of Glass s.197.



Görsel 2.3. *Roman glassmakers isimli projede oluşturulan Roma tank tipi bir cam ergitme fırınına bitişik tavlama bölmesinin yapım aşamaları*

(<http://www.romanglassmakers.co.uk>, Erişim Tarihi: 26.02.2019)



Görsel 2.4. *Roman glassmakers isimli projede oluşturulan, oval yapıda bulunan, Roma dönemi cam ergitme fırınından ayrı yapılmış tavlama fırını*

(<http://www.romanglassmakers.co.uk>, Erişim Tarihi: 26.02.2019)

Geç Roma - Erken Bizans dönemi kazılarında cam fırınları ile ilgili bilgi ise Görsel 2.2’ de olduğu gibi tasvir edilmektedir. “Fırının dış-batı yanında, taban seviyesinden 50 cm yükseklikte, üzeri pişmiş topraktan yapılmış yassı taban tuğla

plâkalarıyla döşenmiş yaklaşık 195 cm x 240 cm boyutlarında seki şeklinde bir yer hazırlanmıştır. Yuvarlak biçimli bu alanın ön yüzü moloz taşlarla düzensiz örülmüş duvarla desteklenmiştir. Sekinin düzgün yüzeyi, fırında oluşturulan cam hamurunun şekillendirilmesinden sonra sıcak cam eşyaların soğutulmak üzere bekletildiği tavlama odasıdır.”⁵⁷ Roma dönemin cam fırınları genellikle yuvarlak ve oval yapıda iki katlı, alt kısmında ateşlik, üst kısmında ise soğutma odası olan fırınlar şeklinde görülmektedir. Genç roma döneminde ise bu fırınlar dairesel formlu fırınlar değil Görsel 2.5’ deki gibi dörtgen formlu fırınlar olarak tespit edilmişlerdir.⁵⁸



Görsel 2.5. *Tralleis kazısında cam fırın görüntüsü*
(Taştemür, 2017, Erişim Tarihi: 26.02.2019)

2.1.4. Venedik fırınları ve tavlama

Venedik cam fırınları ile ilgili British Museum'da bulunan belgede cam fırını biçimi şu şekilde anlatılmaktadır; “Fırın 6 bölümlü olmalıdır. Üst üste 3 kat olmalı, en alttaki bölüm derin olmalıdır ve alev bölümü de burada bulunmalıdır. Orta katta ana bölmelerin önünde bir açıklık olmalıdır. Alttaki alev camın bulunduğu merkez alana orta hazneye ulaşır ve camı ertir. En üstteki kemerli bölüm orta katın üstündeki bir raf şeklindedir ve bu da cam işlerin soğutulması içindir”.⁵⁹

“Hrabanus Maurus’un yazdığı, bugün Monte Cassino Kütüphanesi’nde bulunan, M.S.1023 yılına tarihlenen, “De Universo” isimli eserde cam fırını anlatımı çok detaylı

⁵⁷ A. Yaylalı(2009),2007 YILI Tralleis antik kenti kazı çalışmaları, 30. Kazı sonuçları toplantısı -3, Ankara: Ayır Basım s.17-40

⁵⁸ Taştemür, a.g.k.,(2017) (C),

⁵⁹ Charleston, a.g.k., (1978)

değildir, ancak bir resimle cam fırını ve ustaların çalışması tasvir edilmiştir. Bu resimde cam ustası silindirik bir fırının önünde çalışmaktadır ve bu fırın çift eğimli bir çatı ile örtülüdür. Altta ateşin yakıldığı kısım, orta katta ise çok sayıda çalışma deliği vardır. Bu delikler, içinden camın pipo yardımıyla alındığı açık bölümlerdir ve daha sonra şekillendirme işlemi yapılmaktadır. Üst katta ise tavlama odası vardır (Görsel 2.6)”.⁶⁰



Görsel 2.6. *Hrabanus Maurus'un "De Universo" isimli el yazması eserindeki cam fırını çizimi, M.S. 1023.*

(Charleston, 1978, Erişim Tarihi: 26.02.2019)

Venedik cam fırınlarından olan dikdörtgen planlı çift eğimli çatılı fırının resmini “Dioscorides’in “Tractus De Herbis” 1458’e tarihli isimli el yazması eserinde cam fırını çizilmiştir”.⁶¹ Bu görselde fırının ön yüzünde bir adet çalışma penceresi bulunmakta yan yüzeyinde ise iki adet çalışma penceresi bulunmaktadır. Ön yüzeyinde üst kısımda bulunan pencereye ise ustalardan biri bitmiş cam kabı koymaktadır. Buradan da anlaşıldığı gibi üst kısmın bir çeşit tavlama odası olduğu düşünülmektedir. (Görsel 2.7)

⁶⁰ Kanyak, a.g.k.,(2009)

⁶¹ Kanyak, a.g.k.,(2009)



Görsel 2.7. Dioscorides'in "Tractus De Herbis" isimli el yazması eserindeki cam fırını çizimi(15. yy.)
(Kanyak,2009, Erişim Tarihi: 26.02.2019)

"Livres De Simples Médecines" isimli 15. Yüzyılda yazılmış bir başka el yazması eserde ise yine dairesel planlı, silindirik gövdeli üç katlı bir cam fırını resmedilmiştir".⁶² Bu çizimde çatı kısmı dilimli şekilde resmedilmiştir. Elindeki pipo ile şekillendirme işlemi bitmiş camı tavlama odasına yerleştirilmektedir. En alt kısımda ateş yakıldığı, orta kısımda çalışma pencerelerinin olduğu resmedilmiştir (Görsel 2.8).



Görsel 2.8. "Livres Des Simples Médecines" isimli el yazması eserdeki cam fırını çizimi.
(Kanyak,2009, Erişim Tarihi: 26.02.2019)

⁶² Kanyak, a.g.k.,(2009)

Vatikan müzesinde bulunan 15.yüzyıl ait olan el yazmasında da cam fırını iki katlı dairesel planlı cam fırını ve önünde çalışan ustaları Görsel 2.9.’ da resmedilmiştir.



Görsel 2.9. 15. yüzyıl sonlarındaki Venedik cam fırını tipini gösteren bir çizim, Vatikan Müzesi.
(Charleston, 1978, Erişim Tarihi: 26.02.2019)

Peder Mansson isimli İsveçli bir rahip “Glaskonts” (Cam Sanatı) isimli eserinde Venedik tipi cam fırınları şöyle tanımlamaktadır;

“Camın bulunduğu ikinci fırının yapılması daha zordur. Tamamen güçlü aleve dayanıklı olabilecek nemli kilden yapılmalıdır ve geniş bir mekânın ortasında olmalıdır. En alttaki zeminden en fazla 750 mm yüksek olmalıdır, çapı da 500 mm olmalıdır. Bu katın üstünde cam fritinin konulduğu potalar yerleştirilmelidir. Dış duvar 8 kaburgadan oluşmalıdır ve her bir kaburga arasında bir açıklık (çalışma deliği) bulunmalıdır. Her bir deliğin önünde, fırının içinde bir pota olmalıdır; ikinci kat birincisinden 1270 mm yükseklikte olmalıdır, ortasında da 250-380 mm çapında dairesel bir açıklık olmalıdır. Bu açıklığın önünde de bir yükselti yapılmalıdır ki buraya soğuması için konan kaplar düşmesin. Üçüncü kat ise en üsttedir. İkinci kattan yüksekliği 1000 mm olmalıdır. Dumanın çıkabileceği 250 mm genişliğinde 3 açıklığı olmalıdır, bu açıklıklardan camın da soğuması için buraya konması sağlanır. Fırının ağzı zeminin altında, 510 mm genişliğinde olmalıdır ve buraya kuru odunlar konulur. Bu fırın ağzının yapılması için hemen ön kısmı kazılır”⁶³

Georgius Agricola’nın 1556 yılında Basel’de yayımlanan ünlü eseri “De Re Metallica”da o dönemde Venedik’teki camcılığının ve üretimin nasıl olduğu ile ilgili

⁶³ Charleston, a.g.k.,(1978)

eserinde bilgi verilmektedir. Agricola'nın eserinde cam yapımını “üç ayrı fırında” , “iki değişik yapılı fırında” ya da “karmaşık yapılı tek fırında” olmak üzere üç farklı yöntem ile yapıldığı anlatılmıştır.

Üç ayrı fırın yöntemindeki birinci fırın altlı üstlü olarak iki bölümden oluşur. Alt kısımda kuru odunların konulacağı bir göz ve ocak bulunur. Burada yakılan odunlar üst kısma sıcaklığını vererek cam ergitme işlemi yapılmaktadır. Ergiyen cam fırının üst odasına bırakılır ve böylece aynı fırın içinde soğutulma işlemi yapılarak cam bloklar elde edilmiş olur.(Görsel 2.10.)



Görsel 2.10. Hammaddenin camsı hale gelmesi için kullanılan fırın
(Küçükerman,98, Erişim Tarihi: 02.03.19)

Bu yöntemdeki ikinci fırın ise; üst üste iki bölümden oluşur. Alt kısımda bulunan bölümde ateş yakılır. İç alt bölümün tavanında bulunan delik sayesinde sıcaklık yukarı çıkar ve seramik potaların içinde bulunan birinci fırında yapılmış olan cam bloklar ergitilir. Ardından fırının belli bir sıcaklığa gelmesi ile birlikte potalardaki cam tekrar ergitilip şekil verilecek hale getirilir.

Üçüncü fırın; alt ve üst iki bölümden oluşan bu fırının içerisine şekil verilmiş arka kısımda bulunan fırında ise yavaş bir şekilde oda sıcaklığına gelmesi beklenen cam işlerin konulduğu tavlama odalarıdır.(Görsel 2.11.)



Görsel 2.11. Ön kısımda bulunan fırın ergitme işleminin yapıldığı kısım arka kısımda bulunan fırın ise tavlama fırınıdır.

(Küçükerman,98, Erişim Tarihi: 02.03.19)

De Re Metallica kitabındaki iki değişik yapılı fırın ise şu şekilde anlatılmıştır;

İlk fırında yine hammaddelerin ergitilme işlemi gerçekleştirilmektedir ardından ikinci fırında ise hazırlanan cam tekrar ergitilip şekillendirmektedir. Cama şekil verildikten sonra cam ergitme fırının yanında bulunan tavlama odalarına konulmaktadır.(Görsel 2.12)



Görsel 2.12. iki ayrı cam fırını, öndeki ergitme fırını arkadaki ise tavlama fırını

(Küçükerman,98, Erişim Tarihi: 02.03.19)

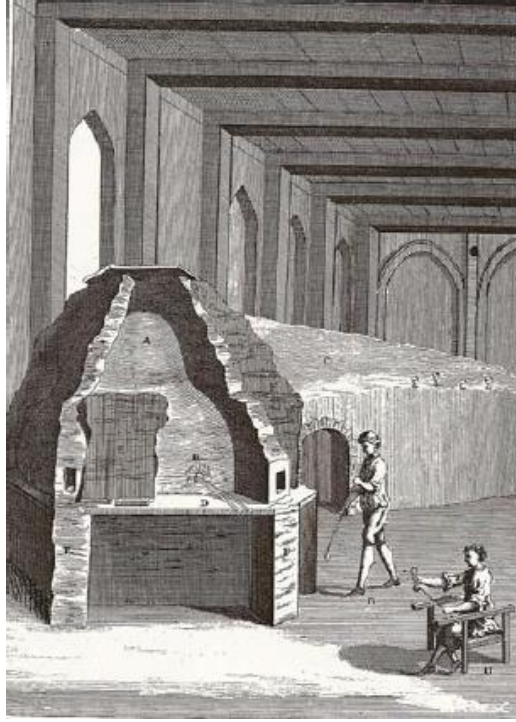
Karmaşık yapılı tek fırında ise tüm bölümler üst üste yerleştirilmiştir ergitilmek üzere konulan camların gün boyu şekillendirme işlemi yapılmaktadır ve camlar daha sonra tavlama bölümüne konulmaktadır. Potalardaki cam bitene kadar şekillendirme işlemi sürdürülmektedir daha sonra cam tavlama bölümüne konulmaktadır. Cam fırını soğutulup içerisinden tavllanmış camlar çıkarıldıktan sonra tekrar fırında ergitme işlemine ve ardından tavlama işlemine devam edilmektedir.(Görsel 2.13)



Görsel 2.13. Üç bölümlü cam fırını
(Küçükerman,98, Erişim Tarihi: 02.03.19)

17 y.y İtalyan tipi cam fırınlarını resmeden ressamalar Bringuccio ve Agricola'nın asimetrik yapıda olan cam tavlama fırınlarının sol kısımda bulunan tünel şeklindeki tavlama odalarından uzun çubuk yardımı ile küçük hareketler yaparak camları kırmadan dışarı çıkardıklarını resmetmişlerdir. Bu da lehr'in (tavlama tüneli) başlangıcıdır.

Antonio Neri'nin yazdığı Dell' Arte Vetraria (Cam Sanatı) adlı eserinde çeşitli cam fırınlarının ve uzun tünel şeklindeki fırınların gravürleri bulunmaktadır.(Görsel 2.14)



Görsel 2.14. *Cam fırını ve uzun tünel fırını*
(Kanyak, 2009, Erişim Tarihi: 02.03.19)

2.1.5. Osmanlı'daki fırınlar ve tavlama

Osmanlı'da cam kullanımını Topkapı sarayı için eşya masrafları belgesinden anlaşılmaktadır. Bu belgede çeşitli camlardan ve bunların masraflarından bahsedilmiştir.

III. Murad'ın oğlunun sünnet düğünde esnafların geçit töreninde cam ustalarının geçit yaptığı “Surname-i Humayun” kitabındaki minyatürlerden görülmektedir. Bu minyatürde cam ustaları geçit yaparken araba üzerinde inşa ettikleri cam fırınında cam ergiterek üfleme yapmışlardır. Böyle önemli bir tören olsa bile o dönemin şartlarında gerçek bir fırın inşa etmek, tekerlek üzerinde taşımak, içerisinde ateş yakıp cam ergitilmesi ve üflenmesi fırın kullanılması açısından büyük teknik zorluktur.⁶⁴ 16. Yüzyıl Venedik cam fırınları ve Osmanlı cam fırınları ile benzerlik göstermektedir. Geçit için yapılan bu fırının aslında Agricola'nın kitabında çizdiği fırına ağırlığı ve büyüklüğü açısından benzer olduğu anlaşılmaktadır.

⁶⁴ Kanyak, a.g.k.,(2009)



Görsel 2.15. *Surname-i Humayun' deki camcılarının geçiti*

(<http://www.e-skop.com/skopbulten/karnaval-kategorilerinden-minyatur-imgelerine/2255>)

Erişim Tarihi: 05.03.19)

Fırının alt kısmında ateş yakılan bölüm bulunmaktadır. Ateşi yakmak için altı adet penceresi bulunmaktadır ve yakıt (odun) buradan konulmaktadır. Orta bölümde camın ergitildiği altı adet demir kapaklı bölüm vardır. Cam ustalarına çalışırken kolaylık sağlaması için demir kapaklara zincir takılmıştır. Cam alacakları zaman demiri kaldırıp ergimiş camı içerisinden almaktadırlar. Daha sonraları düzeneği geliştirerek bir pedala basarak açılan kapaklar fırına uygulanmıştır. Bu sayede cam fırını çok fazla sıcaklık kaybetmeden işleme devam edilebilmiştir. Avrupa'da aynı yıllarda cam fırınlarında cam ergitme sırasında tuğladan yapılmış kapaklar kullanılmaktaydı bu kapaklar sabah açılıp akşam kapatılıyordu bu durum fırın sıcaklığının düşmesine ve gereksiz enerji kaybına yol açmıştır.

Fırının üst kısmı yarım küre şeklindedir. Bu alt bölümde şekillendirilen camın tavlama işlemi yapılmaktaydı. Cam şekillendirme işlemi bittikten sonra fırın söndürülür ve sonra soğumaya alınır bu sırada fırının alt kısmından gelen sıcaklık ile tavlama odasında bulunan camlara ısıl işlem uygulanmaktaydı. Oda sıcaklığına gelene kadar yavaş bir şekilde soğutularak bir çeşit tavlama işlemi uygulanmaktaydı. Bu işlem yapılırken cam uzun bir sürede soğutulduğu için camdaki gerilim kısmen giderilmekteydi.

Minyatürde görülen cam ustalarının biçimlendirdiği camı, fırın ağzında tutup yeniden ısıtarak muhtemel “tansiyonu” önleyip camı tekrar şekil verilebilecek sıcaklığa getirmektedirler. Bir başka usta şekillendirmenin tamamlanmasının ardında aynı cam ürünü “soğutma” (tavlama) odasının derin bir noktasına yerleştirmektedir.⁶⁵ (Görsel 2.15)

Osmanlı’dan sonra İzmir’de bulunan camcılar köylere giderek Osmanlı zamanındaki aynı yöntem ile cam boncuk yapmaya başlamışlardır. Şimdiki ismi ile bilinen Nazar köy’ de bulunan cam fırınlarında hala cam boncuk yapılmaktadır. Bu fırınlarda potalara cam hammaddesi konularak ergitme gerçekleştirilmektedir. Potalardaki camın bitmesi ile fırın ertesi gün yeniden yakılmak üzere sönmeye bırakılır. Gün içinde büyük bir sıcaklığa sahip olan fırın sönmeye bırakıldığında, tavlama odası içine doldurulmuş olan camları, yavaş yavaş ertesi güne kadar soğutur.⁶⁶ Yarım kubbe şeklinde olan bu fırında cam boncuk yapıldıktan sonra konulduğu tavlama odasına ‘kavara’ denilmektedir.

2.1.6. Britanya ve Bohemya fırınları ve tavlama

Britanya ve Bohemya’daki fırınlar genellikle ergitme, çalışma ve tavlama odaları yan yana dizilmiştir. Ateş kısmı ise bunların hepsinin altında ve genellikle zemine gömülü halde bulunur, bu fırınlar genellikle potalı cam ergitme fırınlarıdır.⁶⁷

⁶⁵ F. Bayramoğlu(1996).*Beykoz Cam İşleri*, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, s.10

⁶⁶ Ö,Küçükerman(2010) .*Nazar Boncuğu*, Ankara: Kültür Turizm Bakanlığı Yayınları.sf.70

⁶⁷ Kanyak,**a.g.k.**,(2009)



Görsel 2.16. *Britanya ve Bohemya fırınları*
(Charleston,1978, Erişim Tarihi: 22.03.19)

“M.S. 12.-13. yüzyılda Eraclius tarafından yazılmış olan “De Coloribus et Artibus Romanarum” adlı eserde de 3 bölümlü cam fırınından bahsedilmektedir. Ergitme için bu fırının sol tarafında bir başka küçük fırın daha vardır. Ana fırının sağ kısmında ise tavlama odası bulunmaktadır. Bu bölümün kesin bir planı yoktur, dörtgen olması bir kural değildir”.⁶⁸

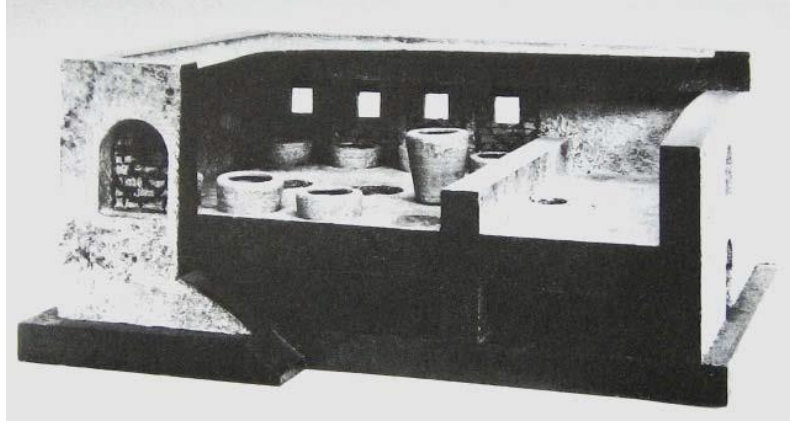


Görsel 2.17. *Bohemya tipi bir cam fırını modeli, (18.yy)*
(Newton – Davison, 1989, Erişim Tarihi: 02.04.19)

⁶⁸ Charleston, a.g.k.,(1978)

Theophilus' un 1100-1140 yılları arasında yazdığı “De Diversis Artibus” adlı eserinde cam üretiminde kullanılan farklı işlevleri bulunan üç ayrı fırından bahsetmiştir. Bunlarda çalışma fırını, tavlama odası ve ocaktır. Theophilus cam tavlama odasının inşa edilmesini şu şekilde anlatmıştır;

“Şimdi 10 ayak uzunluğunda, 8 ayak genişliğinde ve 4 ayak yüksekliğinde bir başka fırın yapalım. Yüzeylerden birinin içine odunun ve ateşin konulacağı bir delik yapın ve bir tarafa önemli eserleri koyup alabilecek bir ayaklık pencere (niş) yapın. İç kısma dayanıklı, düz, pürüzsüz bir ocak yapın, bu ocağın da adı “tavlama odası” dır.⁶⁹ Theophilus’un kitabında da anlatıldığı gibi o dönemde yapılan cam üretimin nasıl olduğu ile ilgili bilgi vermektedir. Cam üretiminin üç aşamasını ve tavlama odasını açıkça göstermektedir.



Görsel 2.18. *Theophilus'un anlattığı cam fırınının modeli (Londra- Science Museum)*
(Newton – Davison, 1989, Erişim Tarihi: 02.04.19)

Sir Mandeville'nin el yazmalarındaki çizimlerde ana çalışma fırını ve bunun orta kısmında iki pota açıklığı ve içerisinde iki pota görülmektedir. Bu potalar basit çanaklar şeklindedir. Fırının alt tarafındaki alev bölümü tüm yapıyı boydan boya kapsamaktadır ve bu alt kısımda üfleme çubuklarının da dizildiği bir ateş açıklığı vardır. Fırının potaların konulduğu ana çalışma kısmının yan tarafı boyunca uzanan birde tavlama odası görülmektedir.⁷⁰

⁶⁹ Kanyak, a.g.k.,(2009)

⁷⁰ G. D.Weinberg, (1994). *Glass Vessels in Ancient Greece*, Publications of the Archaiologikon Deltion, s. 28

2.2. Günümüz Tavlama Fırınları

Cam fabrikalarında veya cam atölyelerinde kullanılan fırınlar üretime göre de farklılıklar gösterebilmektedir. Özel üretimler için farklı bir tavlama diyagramı uygulanabilmektedir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte cam üretiminin artması farklı tavlama fırınları ihtiyacını doğurmuştur. Tavlama fırınlarının, sıcaklık kaybının en az olması için fırın için kullanılan refrakter malzemelerin sıcaklığa dayanıklı olması gerekmektedir. Tavlama için istenilen sıcaklığa çıkabilen ve sıcaklık kaybı en az olacak şekilde izole edilmiş fırında tavlama işlemi uygulanabilmektedir.

2.2.1. Sanatsal alanlarda kullanılan tavlama fırınları

Sıcak cam tekniğinde kullanılan tavlama fırınları;

Önden yüklemeli tavlama fırınları, üstten yüklemeli tavlama fırınları ve boncuk tavlama fırınları sanatsal alanda kullanılan tavlama fırınlarıdır. Bu tip fırınlar çok fazla üretim yapmadan sanatsal üretim yapan küçük atölyelerde kullanılmaktadır. Sınırlı sayıda ürün üretimi nedeniyle genellikle bu tip tavlama fırınları endüstriyel olanlara göre daha küçüktür. İş kalınlığına göre uygun sıcaklık ve sürede tavlama işlemi yapılmaktadır.

2.2.2. Cam fabrikalarında kullanılan tavlama fırınları

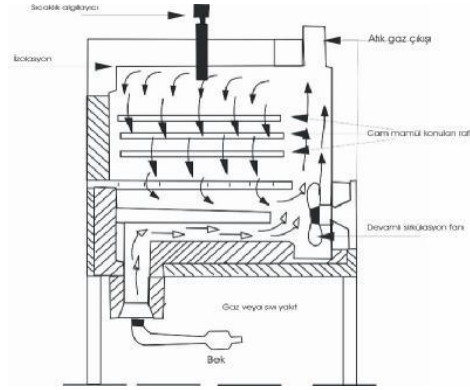
Cam fabrikalarında kullanılan iki farklı tavlama fırını vardır. Bunlar sabit tavlama fırınları ve tünel (sürekli) şeklinde olan tavlama fırınlarıdır. Cam üretiminin artırılabilmesinde en önemli rolü cam fırını ve tavlama fırını teknolojisindeki gelişmeler sayesinde olmuştur. Önceleri küçük potalı fırınlarda cam ergitme yapılırken daha sonra bu potalar büyütülmüş ve bunun ile birlikte tavlama fırınları da büyütülerek 1870 yılında Beivs cam tavlama fırını geliştirmiştir.⁷¹

⁷¹Sümer, a.g.k.,(2007)



Görsel 2.19. Sabit tavlama fırınları

(http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Cam%20C3%9Cretimi%20Ve%20C5%9Eekillendirme%20Y%C3%B6ntemleri.pdf, Erişim Tarihi: 03.03.19)



Görsel 2.20. Sabit tavlama fırının çalışma sistemi

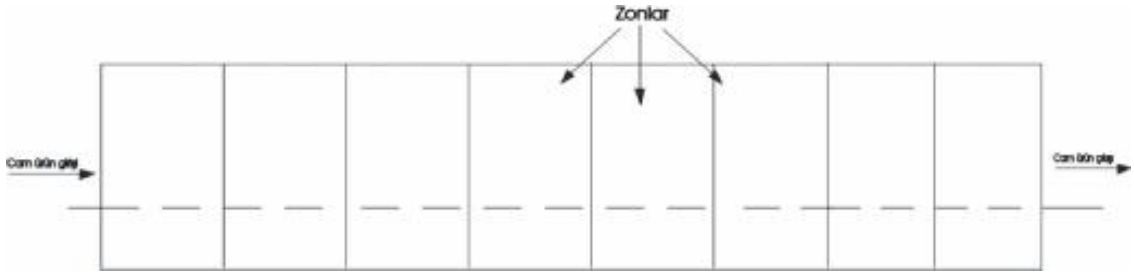
(http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Cam%20C3%9Cretimi%20Ve%20C5%9Eekillendirme%20Y%C3%B6ntemleri.pdf, Erişim Tarihi: 03.03.19)



Görsel 2.21. Tünel cam tavlama fırınları

(http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Cam%20C3%9Cretimi%20Ve%20C5%9Eekillendirme%20Y%C3%B6ntemleri.pdf, Erişim Tarihi: 03.03.19)

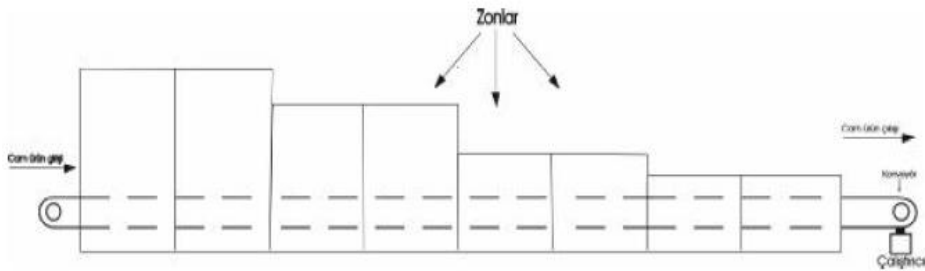
Sabit tavlama ve sürekli (tünel) tavlama fırınlarının kullanımları arasındaki fark üretilen camın fazlalığından kaynaklıdır. Sürekli tavlama fırınları çoğunlukla seyrek örgülü çelik konveyör bantlar ya da dönen silindirler(düz cam şeritlerinin üretiminde) kullanılmıştır.⁷² Sürekli tavlama fırınlarında cam şerit üzerinde hareket ederken tavlama işleminin yavaş bir şekilde yapılarak içerisinde bulunan tansiyon en aza indirgenmektedir.



Görsel 2.22. Sürekli tavlama fırınları

(http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Cam%20C3%9Cretimi%20Ve%20C5%9Eekillendirme%20Y%C3%B6ntemleri.pdf, Erişim Tarihi: 03.03.19)

Sürekli tünel fırınlarının bir diğer avantajı ise her kademede kullanılan izolasyon için kullanılan malzemenin her kademede daha az kullanılması bu sayede camın tavlama ve soğutma ihtiyacının karşılanmış olmasıdır. Üst kısımda bulunan bölümler sayesinde istenilen sıcaklıklara göre tavlama işlemi uygulanır. Tavlama işleminde kullanılan fırınlar genellikle az enerji kullanmaktadır.

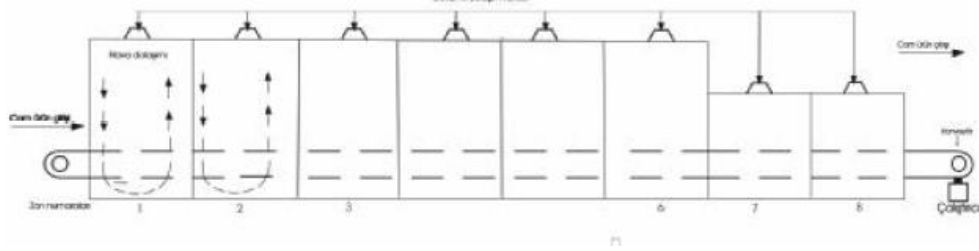


Görsel 2.23. Kademeli sürekli tavlama fırınları

(http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Cam%20C3%9Cretimi%20Ve%20C5%9Eekillendirme%20Y%C3%B6ntemleri.pdf, Erişim Tarihi: 03.03.19)

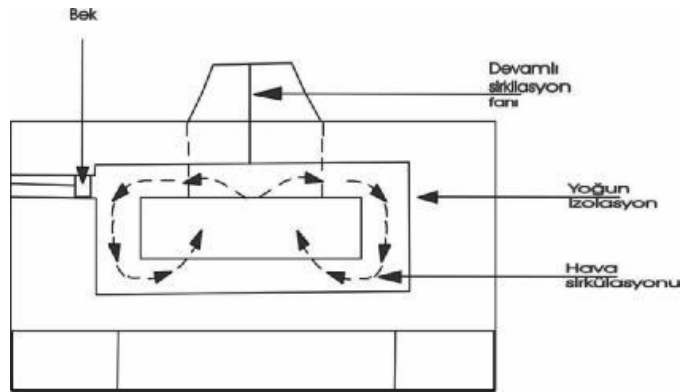
⁷² Milli Eğitim Bakanlığı(2013) *Elde Serbest Şekillendirme*, Ankara

Tavlama fırınları içerisinde sıcaklığı kontrol altında tutan sistem bulunmaktadır. İlk iki bölme genel olarak bölmeler arası sıcaklığı eşit hale getirmeye katkıda bulunmak amacıyla devamlı dolaşım fanlarına sahiptir. Bunlar, aynı zamanda ısıtma formasyonuna sahiptir.⁷³



Görsel 2.24. Hava dolaşım fanları bulunan tavlama fırınları

(http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Cam%20%C3%9Cretimi%20Ve%20%C5%9Eekillendirme%20Y%C3%B6ntemleri.pdf Erişim Tarihi: 03.03.19)



Görsel 2.25. Tavlama bölümü

(http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Cam%20%C3%9Cretimi%20Ve%20%C5%9Eekillendirme%20Y%C3%B6ntemleri.pdf Erişim Tarihi: 03.03.19)

⁷³ Milli Eğitim Bakanlığı(2013) *Elde Serbest Şekillendirme*, Ankara

3. CAM TAVLAMA İŞLEMİ VE GERİLİMİN GİDERİLMESİ

3.1. Geçmişte Camın Tavlanması

Camın bulunuşunun ardından insanoğlunun daha çok meraklanmasına ve bazı şeyleri keşfetmelerini sağlamıştır, fırın içi sıcaklığı olarak 800°C-1000°C'lere ulaşmak (katı yakıt ile 1200°C ve üzerine ulaşmanın zor olması), bu derecelerde akıcılık kazanan camı işleyecek dayanıklı araçlar yapmak, gerekli iş için uygun ortam ve ustalığı elde etmek, biçimlendirilen ürünleri soğutmak, vb. belli başlı sıkıntılardandır.⁷⁴ Cam ergitmede kullanılan katı yakıt belli bir sıcaklığa çıkmaktadır ve bu sıcaklıkla tavlama işlemi yapılmıştır.

Geçmişte seramik kapların yeterli dayanıklılığa sahip olmasının sebebi çamurun şekillendirilip pişirilmesi ile olurken cam tekniklerinde nasıl olması gerektiği henüz bilinmemektedir. Camı şekillendirilmesinin ardından camların kırılmamasını önlemek için nasıl bir sürecin yaşandığı bilinmemektedir. O dönemlerden kalma kandil v.b kalıntılardan, minyatürlerden yola çıkılarak camın tavlama ile ilgili haznelerin olduğu gözlenmektedir. Tavlama işlemi geçmişte cam fırınlarının ergitme kısmının hemen üstünde yapılırken daha sonra ergitme fırının yanında yapılmıştır.

3.2. Tavlama Nedir?

Tavlama işlemini birçok kaynakta şu şekilde açıklıyorlar;

“Tavlama işlemi; camın oda sıcaklığına gelene kadar yavaş yavaş soğutulmasıdır. Tavlama cama uygulanan bir ısı işlem olup cam malzemesinin üretim kademelerinden birisidir. Tavlamanın amacı, üretim sırasında cam soğurken meydana gelen gerilmeleri ısı işlemle yok etmektir”.⁷⁵

“Tavlama işlemi için, üretimi yapılan, şekillendirilen ya da birleştirme işlemi uygulanan cam malzemeler 500-650°C sıcaklıklara ısıtılır ve gerilim giderme işlemi uygulanacak şekilde soğutulur”.⁷⁶

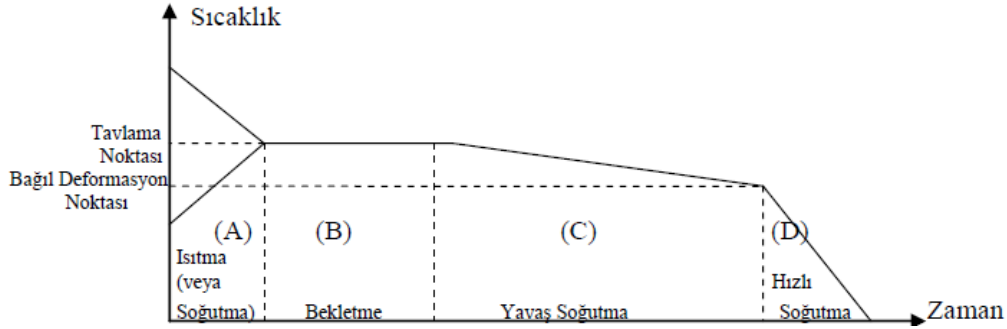
“Fırından çıkan camlar normal sıcaklıkta soğumaya terk edilirse çatlar, bu yüzden tavlama işlemi de farklı soğuma sonucu ortaya çıkabilecek iç gerilmeleri yok edebilmek amacıyla yapılır”.⁷⁷

⁷⁴ Karasu, a.g.k.,(2000)

⁷⁵ Karasu, a.g.k.,(2000)

⁷⁶ <http://www.mikroteklab.com/ud/665-cam-tavlama-firini> (Erişim Tarihi 25.2.2019)

“ Tavlama işlemi bir camı cam fırının ayrı bir bölümünde veya ayrı bir fırında yavaş yavaş soğutma işlemidir. Bu camın daha hızlı soğutulmasından kaynaklanan iç gerilimleri önler. Cam yapımının ayrılmaz bir parçasıdır çünkü sıcak bir cam nesnenin çok hızlı bir şekilde soğumasına izin verilirse, oda sıcaklığına ulaştığında kırıla bilinir”.⁷⁸



Görsel 3.1. Tavlama rejimi grafiği

(http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Cam%20%C3%9Cretimi%20Ve%20%C5%9Eekillendirme%20Y%C3%B6ntemleri.pdf Erişim Tarihi: 03.03.19)

Tavlama işleminde, tavlama sıcaklığı ve gerilme sıcaklığı camın viskozite özellikleri açısından önemli parametrelerdir.⁷⁹ Tavlama, camdaki iç gerilimleri ve olası kırılmaları azaltmak için ısıtma veya yavaş soğutulma işlemidir.⁸⁰ Tavlama 4 kademe gerçekleşir. Birinci kademe(A), tavlama sıcaklığına kadar ısıtma, ikinci kademe (B), belli bir süre bekletmedir. Sonra üçüncü kademe(C) cam soğutulur ve son kademe(D) ürün bulunduğu sıcaklıktan oda sıcaklığına kadar hızlı bir şekilde indirilir.⁸¹ Tavlama rejimi ile ilgili farklı uygulamalar bulunmaktadır. Bunların en çok bilinen isimleri Shand ve Adams-Williamson dur. Tavlama rejiminde bilinen dört ısıl işleme “ortama soğutma” adı ile beşinci ısıl işlemi eklenmiştir.⁸²

En uygun tavlamanın yapılabileceği en yüksek sıcaklık her zaman olmasa da, kullanılan camın dilatometrik yumuşama noktasının 10° C altındadır ve bu sıcaklık döküm yöntemi ile şekillendirmedeki üst seviye yani maksimum tavlama sıcaklığı

⁷⁷ http://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/13._Camlar.pdf (Erişim Tarihi 25.2.2019)

⁷⁸ J. H. Opie(2004)*Contemporary international glass*, London: V&A Publications s.35

⁷⁹ İ. User (1988)Cam Fırınlarda Ölçü Kontrol, Şişecam Cam Sempozyumu

⁸⁰ C. A. Coldiron (2012). *Sculpture And Desing With Recycled Glass*,Schiffer Publishing,s.86

⁸¹ Megep **a.g.k.**,(2013)

⁸² Anonim, *Şişecam Cam Teknolojisine Giriş Kitabı*, Şişecam Eğitim Notları

olarak adlandırılır.⁸³ Camın sıcaklığını, yavaşça oda sıcaklığına soğutmadan önce bir süre sabit tutmanız önemlidir.⁸⁴ Tavlama işlemi sabit bir sıcaklıkta da olabilir. Tavlama, tavlama sıcaklığı aralığında camın yavaş soğutulmasıyla da gerçekleşir.

Camın uygun şekilde tavlammaması zayıf ve kırılğan bırakacaktır. Tavlama genellikle şekillendirilme işleminden hemen sonra yapılır. Cam özel tavlama fırınlarında gerekli tavlama sıcaklığında yani camın bileşimine bağlı olarak uygun ısıl süreç ile ısıtılır ve daha sonra hala fırında iken kontrollü bir hızda soğumaya bırakılır. Tavlama işlemi sırasında gerçekleşen az miktarda viskoz akışı, cam içinde gerilme gevşemesine neden olur ve bu da nispeten gerilimsiz hale gelmesini sağlamaktadır.⁸⁵ Üst tavlama sıcaklığında tavlama işlemi yapıldığında camın içerisindeki atomlar daha hızlı hareket etmesinden kaynaklı gerilim kısa sürede giderilirken düşük tavlama sıcaklığında tavlama işlemi yapıldığında iç gerilimlerin giderilmesi daha uzun sürecektir. Bunun sebebi düşük sıcaklıkta atomların daha yavaş hareket edip gerilimlerin giderilmesinin uzun sürmesinden kaynaklıdır.⁸⁶

Isı sonucunda atomlar, özellikle esnetme, çekme veya bükme gibi cama kuvvet uygulandığında birbirleriyle ilişkilerini değiştirirler.⁸⁷ Atomsal hareketin yüksek sıcaklıkta daha kolay olmasının sebebi yüksek sıcaklıkta camın daha akışkan olmasıdır. Cama ısı uygulandığında, camdaki atomlar titreşmeye başlar ve aralarındaki bağları koparır. Sıcaklık arttıkça, cam eriyene kadar daha fazla bağ kopar ve bu işlem sırasında genişler soğuduğunda ise yavaşlar.⁸⁸ Kalın ve çok büyük cam parçalarını birleştirmek daha kritik hale gelir; ayrıca yüksek genleşme kat sayısına sahip camlar, düşük genleşme katsayısına sahip olanlardan daha dikkatli bir tavlama işlemi gerektirir.⁸⁹

Tavlamanın optimum şekilde yapılması cam üreticisi ve cam sanatçısı için en önemli aşamalardan biridir. Camın kırılma indisi ısıl işlemlere bağlı olduğundan camın her yüzeyinin aynı ısıl işleminden geçmiş olması gerekir.⁹⁰

Aslında camı tavlama sıcaklığında uzun süre tutabilir gerilimlerin giderilmesi bekleyebilir ya da deneme yanılma yoluyla tavlama için ne kadar zaman gerekli

⁸³ H.Halem(1996) *Glass Notes*, Kent, Ohio: Franklin Mills Press.s.

⁸⁴ <https://www.glass-fusing-made-easy.com/annealing.html>(Erişim Tarihi 24.3.2019)

⁸⁵ Davison, a.g.k,(2003)

⁸⁶ Mustafa Ağatekin (2018) Ders Notları

⁸⁷ E.R.Mears(2003) *Flameworking*, New York : Lark Books, s.10

⁸⁸ K. Adams(2005) *The Complete Book Of Glass Beadmaking*, New York : Lark Books, s.42

⁸⁹ B.Lundstrem(1994)*Kılın Firing Glass*, Vitreous Pubns; Phoenix ed edition s.52

⁹⁰ Şişecam Cam Teknoloji Kitabı

belirleyebilirsiniz. “Camın tavlama sıcaklığını yani tavlama noktasını bilmiyorsak eğer çubuk şeklinde bir cam döküm yaparak bu fırında farklı sıcaklıklarda tutularak camın tavlama noktasını belirlenebilmektedir. Test etmek için birkaç çubuk şeklinde cam yapılması gerekmektedir. Çubuk şeklindeki camların 46 cm uzunluğunda, kalem kalınlığında olması gerekmektedir. Hazırlanan bu cam fırın içine 45° açı ile konulur ve fırın 550°C çıkartılır. 1 saat sonra çubuk kontrol edilir ve eğilim olup olmadığına bakılır”.⁹¹ Bu da camın tavlama sıcaklığı bilinmediğinde tavlama sıcaklığını bulmanın bir yoludur.

Göktuğ Günkaya’ nın ders notlarında yapılan bu deneyler şöyle açıklanıyor;

- Çubuk şeklindeki cam 1 saat sonunda bükülmüş ise, fırınızdaki tavlama sıcaklığı çok yüksektir ve sıcaklığı yaklaşık 27° düşürmeniz gereklidir. Yeni bir deneye başlanmalıdır. Yapılan her deneyde yeni bir çubuk cam kullanılmalı ve 45° lik açı ile fırına konulmalıdır. Sıcaklık 27° düşürüldüğünde 1 saat sonunda tekrar eğilme varsa sıcaklık 27° daha düşürülmelidir. Yoksa 4 saat sonra eğilme olup olmadığına bakılmalıdır. 4 saat sonunda hafif eğilme var ise doğru tavlama sıcaklığı bulunmuş demektir.
- Uzun kadehler gibi ince eşyaları veya en ağır olan herhangi bir eşyayı tavlıyorsanız, tavlama sıcaklığını biraz düşürmeniz ve ısıtma sürenizi biraz daha uzun tutmanız tavsiye edilmektedir.
- Tavlama işlemi uygulanmış camlara polariskop ile incelenerek tavlamanın kontrolü gerçekleştirilmektedir.

3.2.1. Camın içerisindeki gerilimler

Tavlama aşaması, cam sıcaklığında dengeye ulaşmak için fırında sabit tavlama sıcaklığında beklenen aşamadır, ancak tavlama işlemi camın gerilim noktasına kadar devam eder. Gerilim noktası tavlama işleminin yapılabileceği en düşük sıcaklıktır, bu noktada atomlar çok yavaş hareket ederler ve camdaki gerilim uzun sürede giderilir.⁹²

⁹¹ Halem, a.g.k.,(1996)

⁹² B. Griffith(1961)*Kılın- Formed Glass*, New York : Lark, an imprint of Sterling Publishing

Gerilim noktası camın sıvıdan katıya dönüşürken en önemli anıdır, Pratik uygulamalarda gerilim noktası altında geçici gerilim yok edilmemektedir.⁹³

Gerilme, camın sıcaklık değişimi nedeniyle oluşur ve dolayısıyla soğutma sırasında büzülme gerçekleşir. Özellikle kalın camların soğuması sırasında farklı bölgelerinin farklı sıcaklık olması nedeniyle gerilmeler oluşur.⁹⁴ Oda sıcaklığında zorlanma veya kırılmaya neden olabilecek bu gerilmeleri gidermek için önceden belirlenmiş bir sıcaklıkta bekletilmesinin ardından camın kontrollü bir şekilde soğutulması gerekir.⁹⁵

Gerilim, aynı zamanda tansiyon olarak da adlandırılmaktadır. Fırında camı ısıtılması ve soğutulması sırasında camda iki çeşit gerilim meydana gelmektedir. Bu gerilmeler çekme gerilimi ve bağıl deformasyon olarak bilinen baskı, sıkıştırma ya da kompresyondur. Bağıl deformasyon, baskı gerilimine ve deformasyonuna neden olur.⁹⁶ “Bir malzemeye yük uygulanıp kaldırıldıktan sonra malzeme eski şekline dönebilirse “Elastik”, malzemeye yük uygulandıktan sonra yük kaldırıldığında eski şekline dönemezse ve yeni bir şekil almışsa “Plastik”, Malzemeye yük uygulanıp kaldırıldıktan sonra hemen değil de zamanla eski şekline dönebiliyorsa “Anelastik” şekil değişimi oluşmuştur”.⁹⁷

Gerilime neden olan sıcaklık farklılığı dağılımı sürdüğü sürece devam eden ve düşük sıcaklıklarda bile, bu fark ortadan kalktığı zaman kaybolan gerilim geçici gerilim olarak adlandırılır. Sıcaklık farkının yok olmasına rağmen varlığını sürdüren gerilim ise, kalıcı gerilim olarak ifade edilmektedir.⁹⁸

Sürekli yani kalıcı gerilmeler ise tavlama işlemi uygulanmasına rağmen giderilemeyen gerilmelerdir. Camın içinde yabancı madde ya da refrakter parçası vb. olduğunda kalıcı gerilmeler meydana gelir. Camın içerisinde böyle gerilmelerin kalmasının bir başka nedeni camın şekillendirilip yavaş bir soğutma işlemi uygulanmadan direk oda sıcaklığına getirilmesi ile içerisindeki gerilimin hala devam etmesi durumudur. Gerilimin devam etmesinin bir nedeni olarak camın içerisine harman hazırlanması

⁹³ Mustafa Ağatekin Ders Notları

⁹⁴ K. Cumming(2001)*Techniques of kiln –formed glass*, London : A & C Black

⁹⁵ <https://www.bullseyeglass.com/methods-ideas/technotes-4-heat-a-glass.html>

⁹⁶ Şişecam, **a.g.k.**

⁹⁷ Megep, **a.g.k.**,(2013)

⁹⁸ D., Kocabağ (2002) *Cam Kimyası Özellikleri Uygulanması*, İstanbul, Birsen Yayınevi , s.177,178

sırasında veya fırın içerisinde düşen refrakter v.b yabancı parçaların düşmesidir. Camın içerisinde taş, çapak v.b varsa tavlama işlemi uygulansa bile giderilemeyebilir.

Pek çok malzeme gibi camda ısıtılırken genleşir ve soğurken daralır yani küçülme meydana gelir ancak cam hızlı soğurken yüzeydeki küçülme iç kısımdakine göre daha fazla olur, dış tarafındaki çekme gerilimi, iç tarafta da basma gerilimi oluşur. Bunun sebebi camın ısıl iletkenliğinin diğer malzemelere göre daha düşük olmasıdır. Camın her iki yüzeyini birlikte ısıtırsanız dış yüzey hemen ısınırken iç kısım düşük ısıl iletkenlikten dolayı geç ısınır. Dış tarafın sıcaklığından kaynaklı camın uzaması ile iç kısmın kısa kalmasından kaynaklı içerisinde gerilimler oluşur. Camın içi yani merkezi dış yüzeye baskı yapar dış yüzeyde iç tarafı gerdirir. Gerilimlerin büyüklüğü her zaman soğutma sırasındaki iç taraf, dış tarafın sıcaklık farkının fazlalığına göre değişmektedir. Eğer camın dış yüzeyi ve iç yüzeyi aynı sıcaklıkta ise camda genleşme farkı olmaz ve gerilim meydana gelmez.⁹⁹

Camın içerisindeki gerilimlerin giderilmesi için camın et kalınlığına göre fırın diyagramı yazılması gerekir. Camı yavaş bir şekilde sıcaklığının yükseltilip daha sonra tavlama sıcaklığında gerilim giderilinceye kadar bekletilip sonrasında tekrardan soğutma işlemi uygulanması gerekir. Bununla birlikte camı, daha düşük bir sıcaklıkta bekletmek gerilimin giderilmesi için yeterli olmayabilir ve aynı zamanda biriken gerilmeyi gidermek için daha uzun bir bekletme süresi gerektirebilir ve kısa süreli tavlama işlemi tüm gerilimin ortadan kaldırılması için yeterli olmamaktadır.¹⁰⁰

Tavlama işleminde camın içerisinde gerilim kalmaması için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu önlemlerde; tavlama sırasında fırını açmamak, kontrol deliklerini ve havalandırma deliklerini, kapatmaktır.¹⁰¹ Fırın sıcaklığı 50°C'nin altına kadar yavaş yavaş düşürülmelidir. Bunun sebebi kalıbın içerisinde olan camların uzun süre sıcak kalmasından kaynaklı yani çok yavaş soğutulmasından kaynaklıdır. Cam tamamen soğuyuncaya kadar üzerinde soğuk işlem uygulanmaz cam fırından çıkarıldıktan 24 saat sonra soğuk işlem uygulanır.¹⁰²

Yeniden tavlama işlemi tavlama sürecinin aşamalarındaki aksaklıklardan ve yetersizlikten dolayı ortaya çıkan problemlerin giderilmesini sağlamaktadır, tavlama aşamalarına uyulması şartıyla yeniden tavlama işlemi uygulanabilmektedir. Yeniden

⁹⁹ Şişecam, **a.g.k.**,

¹⁰⁰ <https://www.glass-fusing-made-easy.com/annealing.html> (Erişim Tarihi 25.3.2019)

¹⁰¹ Cumming, **a.g.k**(2001)

¹⁰² Mustafa Ağatekin Ders Notları

tavlama işlemi uygulanmış olan camın tavlama sürecinin yeterli görülmemesi, durumunda üzerine tekrar farklı parametrelerde tavlama işlemi uygulanabilmektedir.¹⁰³

3.2.2. Tavlama rejimini etkileyen faktörler

Tavlama işlemini etkilen faktörler; camın kalınlığı, camın kompozisyonu, termal genleşme kat sayısı, şekillendirme tekniği ve camın şeklidir. Cam kalınlığı tavlama için önemli bir etkidir. Camın kalınlığı fazla olduğunda tavlama diyagramı daha uzun bir süre uygulanmaktadır. Camın kalınlığı aslında tüm sürecin nasıl olacağını gösterir. Cam kalınlığının iki katına çıkması sonucunda soğutma hızının çok daha yavaş olmasını gerektirir, sonuçta soğutma süresi iki katından daha fazla uzar.¹⁰⁴

Cam kompozisyonu demek camı oluşturan hammaddeler demektir. Bunun için nasıl bir cam istendiği ve camın hedeflenen kimyasının bilinmesi gerekmektedir. Bu yüzden hazırlanan kompozisyonlar camın genleşmesini belirlediği gibi oluşacak sıcaklık farklılığı ile gerilimin şiddetini de belirler.¹⁰⁵

Camın şekillendirmesi demek camın hangi teknikte yapıldığı ve bu teknik sonucunda camın tavlama sürecinin etkilenmesi ile ilgilidir. Tavlama fırının içerisinde mi yoksa fırın diyagramının kademelerinde kontrollü bir soğutma yapıldı bu durumun bilinmesi önemlidir. Şekillendirilen heykelin veya endüstriyel camın hangi şekilde olduğu önemlidir. (yatay, dikey v.b)

Camın şekline bakılarak yani içi dolu, içi boş, kıvrımlı veya düz mü bakılarak fırın diyagramı yazılır. İçi boş olan üfleme tekniği ile yapılan camın tavlama diyagramı içi dolu bir cama göre daha kısa sürmektedir. Köşeli bir şekli olan camın yuvarlak bölgeleri olan camlara göre daha uzun sürede soğutulması yani daha yavaş soğutulması gereklidir. Çünkü köşeli olan camlar gerilimin etkisi ile daha kolay kırılabilir.¹⁰⁶

3.2.3. Tavlama metodları

Tavlama işlemi, yöntemi ve tavlama kullanılan alet ve malzemeler şekillendirme tekniklerine göre değişiklik göstermektedir. Tavlama işlemlerinin gerçekleştirilmesi için iki temel yaklaşım olduğu söylenebilir. Birincisi; tavlama kumu (cam battaniye v.b.) ısının muhafaza edilebileceği malzemelerin içine gömülme yoluyla

¹⁰³ D.Arıburnu (2015)*Cam Üretiminde Etkin Tavlama ve Önemi*,Şişecam Cam Sempozyumu Bildiri

¹⁰⁴ Şişecam, **a.g.k.**,

¹⁰⁵ Şişecam, **a.g.k.**,

¹⁰⁶ Şişecam, **a.g.k.**,

gerçekleştirilebilirken ikinci yaklaşımda işlem bir fırın içerisinde gerçekleştirilmektedir. Bu iki yaklaşım içinde farklı metodlarının geliştirildiği görülmektedir.

3.2.4. Cam tekniklerinde tavlama işlemi ve kullanılan gereçler

Farklı cam şekillendirme tekniklerinde kullanılan çeşitli tavlama yolları vardır. Belli başlı cam teknikleri; sıcak cam üfleme teknikleri, fırında biçimlendirme teknikleri, alevle şekillendirme teknikleridir.

3.2.4.1 Sıcak cam üfleme tekniklerinde tavlama işlemi ve kullanılan gereçler

Sıcak cam, üfleme tekniğinde sıvı halde olan cam potadan üfleme çubuğuyla alınır. Bu sıvı halde ki cam biraz soğuyup akıcılığı azalınca üfleme çubuğuyla biraz üflenirse cam şişmeye başlar ve düzgün bir küre oluşur.¹⁰⁷ Şekillendirme işlemi yapıldıktan sonra cam içerisinde gerilim olmaması için şekillendirmenin tamamlanmasından sonra cam ürün tavlama fırınına yerleştirilmektedir. Genellikle atölyelerde kullanılan tavlama fırınları önden yüklemeli fırınlar tercih edilmektedir. Bunun sebebi fırın içerisinde hacim olarak rahatlıkla kullanılıp istenilen ölçüde yapılan heykeller için içerisine raf sistemi eklene bilinir(Görsel3.2.). Tavlama işlemi uygulanan cam, tavlama fırınında belli bir süre bekletilir ve oda sıcaklığına geldiği zaman tavlama fırınından çıkarılarak soğuk işlemin ardından cam üretimi tamamlanmaktadır.



Görsel 3.2. Önden yüklemeli tavlama fırını

(<http://www.vesta.com.tr/firinlar/cam/sicak-camla-calisma/tav-firinlari/fld-series.htm>)

Erişim Tarihi:15.03.19)

Sıcak cam için kullanılan bir diğer tavlama fırını ise üstten yüklemeli tavlama fırınlarıdır. Bu fırının özelliği daha önceden sıcak camda şekillendirilen camı içerisine koyulup belli bir sıcaklıkta bekletilip pipo ile alınıp tekrar şekillendirme işlemini

¹⁰⁷ Ö. Küçükerman(1985),*Cam Sanatı ve Geleneksel Türk Camcılığından Örnekler*, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları s.54

yapılabilmesidir. Fırın içerisine raf sistemi koyulmadığı için tek bir kişinin çalışması imkan verecek şekilde tasarlanmıştır.



Görsel 3.3. Üsten yüklemeli tavlama fırını

(<http://www.vesta.com.tr/firinlar/cam/sicak-camla-calisma/tav-firinlari/tld-series.htm>)

Erişim Tarihi: 03.03.19)

Sabit tavlama fırınları üretilen ürünün miktarına veya ürünün kalınlığına uygun olarak özel bir tavlama işleminin uygulanmasında kullanılmaktadır. Sabit tavlama fırınlarında olması gereken özellikler; gereken sıcaklığa çıkabilmesi, fırının ürünler için yeterli büyüklükte olması, fırının içerisinde bulunan sıcaklık kaybının en az olacak şekilde izole edilmiş sıcaklığa dayanıklı malzemelerden olmasıdır. Bu fırınlarda en önemli özellik fırının içerisinde bulunan sıcaklığın her tarafta aynı olması ve bunun fırın içerisinde sürekli dolaşım halinde olması gerekmektedir.¹⁰⁸ Sabit tavlama fırınlarında üç tip fırın vardır. Bunlar doğrudan ateşlemeli, dolaylı ateşlemeli, sürekli dolaşımli fırınlardır. Fırın içerisinde yanan gazın tavlanan ürünlerle aynı bölümde bulunuyorsa doğrudan ateşlemeli eğer doğrudan temas halinde değilse dolaylı ateşlemeli denilmektedir. Bunların her ikisinde olabilecek ama fırın içerisinde bulunan gazların sürekli dolaşım halinde olması sürekli dolaşımli fırınlardır.¹⁰⁹

Sürekli tavlama fırınları ve tünel fırınlar ise iki ucu açık yatay şekilde olan fırınlardır. Tünel fırının iki ucu da açık olduğundan rüzgar kaynaklı ve benzeri hava olaylarından oluşabilecek bir esintiden camların etkilenmemeleri için her basamakta fırının içerisinde ölçülmesi gerekir.¹¹⁰

¹⁰⁸ Şişecam, a.g.k.,

¹⁰⁹ Şişecam, a.g.k.,

¹¹⁰ Şişecam, a.g.k.,

3.2.4.2 Fırında biçimlendirme tekniklerinde tavlama işlemi ve kullanılan gereçler

Kalıpla şekillendirme tekniğinde, çamur ya da balmumu ile şekillendirme yapıldıktan sonra modelin alçı - silis karışımı ile kalıbı oluşturulmaktadır. Kalıp boşluğunun hesaplanmasının ardından gerekli olan cam miktarı hesaplanmaktadır. Camlar tartıldıktan sonra uygun miktarda cam hazırlanan kalıba konulur ve sonra fırın içerisinde ısıtıl işlem uygulanarak camın eritilmesi işlemi gerçekleştirilir. Cam ergitilirken kütlenin tüm noktalarını homojen bir sıcaklıkta, minimum sıcaklık aralığında getirerek tavlmalıdır.¹¹¹ Cam erimesinin ardından yavaş yavaş soğutulması gerekir. Cam et kalınlığına bağlı olarak uygun tavlama sıcaklığında bekletilir ve gerilim giderilir. Döküm yapılırken camın kalınlığı kadar döküm kalıbının kalınlığı da bir o kadar önemlidir yani 3 cm'lik bir cam dökümünüz 2 cm'lik kalıp kalınlığınız var ise 5 cm'lik bir fırın diagramı yazılması gerekir.¹¹² Ardından uygun soğutma hızında oda sıcaklığına gelene kadar fırının içerisinde bekletilir. Fırının göstergede görülen sıcaklığı düşük olsa bile cam kalınlığına bağlı olarak kalıp içerisindeki cam sıcaklığı çok daha yüksek olabilmektedir. Oda sıcaklığına düşünceye kadar fırın kapağının açılmaması ile camın termal şoktan etkilenmesi önlenmektedir. Cam, fırının içerisinde oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletildikten sonra camın ısıtıl şoktan kırılmasını önlemek için, daha sonra oda sıcaklığında bir gün bekletilip sonrasında soğuk işlem uygulanması gerekir.¹¹³ Kalıpla cam biçimlemelerde camların tavlama işleminin nasıl yapılması gerektiği ile ilgili Mustafa Ağatekin' in ders notlarında şöyle anlatılmaktadır;

Camın ergitilme işleminden sonra ısıtıl işleminin ardından tavlama sıcaklığının en yüksek sıcaklığında tavlama işlemi gerçekleştirilir. Kalıbın tüm yüzeylerinin ince detaylara kadar aynı sıcaklıkta olması için bekletilme yapılması kalıbın iç ve dışının sıcaklığının aynı olması gerekmektedir. Pratikte fırınlanan kütlenin her iki buçuk santimi için kütle tavlama sıcaklığında 4 saat bekletilmelidir. Cam eserin en uzun kenarı alınıp ikiye bölünüp, 4 ile çarpıldığında bu süre tavlama sıcaklığındaki tavlama sürenizi belirleyecektir. İkiye bölünmesinin en büyük özelliği; cam formun merkezindeki sıcaklığının korunması için gerekli olan bekleme süresinin doğru belirlenmesi içindir. Zira kalıbın hava ile temas eden kısmının daha çabuk soğumasından kaynaklı camın merkezinin sıcaklığı tavlama için daha önemlidir. Her 6mm için 1 saat bekleme yapılması gerekiyor. Fırının iç kısmı kalıplar ile dolu ise fırında bulunan camların daha uzun bir tavlama işlemi uygulanması gerekir. Camın tavlama sıcaklığının 25° altına kadar saate 2° veya 3° soğutulur. 315° kadar saate 4° ile 6° soğutulur. 315° altından yaklaşık 150 °kadar saate 20°

¹¹¹ Cumming, a.g.k.(2001)

¹¹² Halem, a.g.k.,(1996)

¹¹³ Griffith,a.g.k., (1961)

veya 30° soğutma işlemi uygulanması gerekir. Kalıpların fırın içerisinde tavlama işlemi uygulandıktan sonra 40° düşüne kadar fırının kapağının açılmaması gerekmektedir.

Glass Notes isimli bir kitapta üfleme ile şekillendirme kullanılmak üzere fırın diyagramı et kalınlığına göre verilmiştir. Fritz Dreisbach'ın önerdiği tavlama sıcaklıkları;

Tablo 3.1. Fritz Dreisbach'in üfleme camları için önerdiği tavlama diyagramı (Glass Notes,1996)

T: cm	.317	.635	1.27	1.90	2.54	5.08	7.62	10.16	12.7	15.24
T: inches	1/8	1/4	1/2	3/4	1"	2"	3"	4"	5"	6"
A.T	0.5	1	2	3	4	8	12	16	20	24
A.T.-200°F(111°C)	0.7	1.5	3.7	6.2	8.5	18	33	54	80	109
A.T -300°F (167°C)	0.8	1.7	4.2	7	9.5	19.5	36	59	88	120
A.T.-400°F(222°C)	1	2.0	4.7	7.5	10.5	20.5	38	63	95	130
A.T. -550°F(305°C)	1.25	2.25	5.0	8.0	11.25	21	40	67	100	140

Ayrıca daha kalın olan kalıpla şekillendirilmiş camlar veya sıcak cam serbest şekillendirilmeyle üretilmiş masif cam ve heykeller için Fibbonaci Sequen' in önerdiği fırın diyagramı da aynı kitapta bulunmaktadır. (Tablo 3.2.)

Tablo 3.2. *Fibonacci Sequen' in döküm heykelleri için önerdiği diyagram (glass notes,1996)*

F°	t	Zaman					
		3	4	5	6	7	8
950°	A.T	12	16	20	24	28	32
945°	A.T.-5°	13.5	18	23	28	33	38
942°	A.T.-8°	15	20	26	32	38	44
937°	A.T.-13°	16.5	22	29	36	43	50
929°	A.T.-21°	18	24	32	40	48	56
916°	A.T.-34°	19.5	26	35	44	53	62
895°	A.T.-55°	21	28	38	48	58	68
861°	A.T.-89°	22.5	30	41	52	63	74
806°	A.T.-144°	24	32	44	56	68	80
717°	A.T.-233°	25.5	34	47	60	73	86
573°	A.T.-377°	27	36	50	64	78	92
340°	A.T.-610°	28.5	38	53	68	83	98

Libensky tavlama yöntemi, en kalın camlar için uygulanabilecek tablo 3.3 en yeterli fırın diyagramıdır. Libensky'e göre; Büyük heykellerin özellikle kalıpla şekillendirilmiş masif işler için et kalınlığı değerine ve basamaklara uygun olarak tavlama önerilmektedir. Tablo 3.3. bu diyagram bulunmaktadır.

Tablo 3.3 Libensky tavlama yöntemi için önerdiği diyagram (Glass Notes,1996)

		A	B	C	D	E	F	G	H	I
°C	15°	200°	200°	600°	600°	800°-850°-820°	800°-850-820	510° Anneal	370° Strain Point	50°-100°
°F	60°	400°	400°	1100°	1100°	1500°	1500°	950°	700°	200°
T1	0	3hr.	4 hr.	4 hr.	4	1	1.5	...	12	12
T2	0	4hr.	4 hr.	4 hr.	4	1	2	...	24	24
T3	0	4	4	6	6	1.5	2	8	48	48
T4	0	8	8	8	8	1.5	2	10	96	96
T5	0	8	12	8	8	2	3	12	190	190

Füzyon tekniğinde, seramik, alçı, silika veya diğer malzemelerden yapılmış kalıpların kullanılması ya da erimiş camın kalıp olmadan temel kaynaşma ile elde edilebileceği tekniktir.¹¹⁴ Kaynaşmış parçada bir gerilim varsa, sonraki fırınlama aşamasında tam yapışma veya çöktürme, sıcaklık değişimlerine karşı cam çok daha hassaslaşır.¹¹⁵ Her ateşlemede herhangi bir parçanın iyice tavllanması önemlidir. Eğer tavlama işlemi iyi yapılmamış ise camda kırılmalar olabilir. Tavlama sıcaklığında cam, kalınlığına göre uygun süre boyunca cam tavllanır ve sonrasında oda sıcaklığına soğutulur

3.2.4.3 Alevle şekillendirme tekniklerinde tavlama işlemi ve kullanılan gereçler

Alevle şekillendirme tekniğinde, cam çubuk ve boruların alevde ergitilip üzerinde çeşitli değişiklikler, istenen şekil biçim ve dekorların tavlmalı borosilikat ise tavlama işlemi camın kalınlığına göre değişir ve oda sıcaklığına bırakıla bilinir.¹¹⁶ Bir boncuğun üzerindeki yüzey alanı miktarı, ısıtma hızını ve dolayısıyla elde edilmesi olarak tanımlanır.¹¹⁷ Yumuşak cam alevden alındıktan sonra hemen onu soğutmak için gereken zamanı etkiler.¹¹⁸ Bu yüzden şekillendirilen cam boncuğun ince kısımları, kalın kısımlarla aynı oranda soğuması gerekir. Şekillendirme yapıldıktan sonra camın

¹¹⁴ Coldiron, **a.g.k.**,(2012)

¹¹⁵ <http://glasstips.blogspot.com/> (Erişim Tarihi 28.3.2019)

¹¹⁶ Mears, **a.g.k.**,(2003)

¹¹⁷ N.Ertürk (2017) *Cam Sanatında Alevde Çalışma Tekniği*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi s.36

¹¹⁸ Adams,**a.g.k.**,(2005)

kalınlığına göre alevin ısısında, küçük tavlama fırınında, cam elyafın içerisinde ya da ince kumun içerisinde ısıtılma işlemi tabi tutulur. Bu şekilde camın tavlama sıcaklığında uygun süre bekletilerek ve ardından uygun hızda soğutulması ile gerilimin giderilmesi sağlanmaktadır.

Alev ile şekillendirme tekniğinde kullanılan tavlama fırınları; “Küçük boyutlu tavlama fırınlarında, kapak kısmına küçük pencereler yapılmıştır. Bu pencereler sayesinde çalışmaları yerleştirmek için büyük fırın penceresini açmaya gerek kalmadan, fırın içine yerleştirme yapılabilir ve ısı kaybı önlenmiş olur”.¹¹⁹ Tavlama fırınlarının maksimum sıcaklığı genellikle 600°C civarındadır. Fırının ısıtma sistemi üst tavan kısmından yapılmaktadır. Rezidans telleri kuvarz tüplerinin içerisinde ve bunun sebebi fırının içerisindeki sıcaklığın homojen bir şekilde dağıtılmasıdır.

Cam elyafta tavlama (seramik battaniye); Küçük boyutlarda yapılan cam boncukların soğuması için cam elyafların içine konulması şeklindedir. Cam elyafın dış kısmının alüminyum folyo ile kaplanması gerekir bunun en büyük sebebi sıcaklıktan kaynaklı ellerin yanmaması, ciltle teması halinde zarar vermesi ve sıcaklığın kontrollü bir şekilde muhafaza edilmesidir. Vermikulit; doğal bir mineral olan ve düşük ısı geçirgenliği, yüksek izolasyon özelliği olan bir kumdur. Kumda tavlama cam işlerinin vermikulit benzeri malzemenin içine konularak yavaş soğutulması şeklinde gerçekleştirilir.



Görsel 3.4. Boncuk tavlama fırını

(<http://www.vesta.com.tr/firinlar/cam/alevle-calisanlar/tav-firinlari-ve-aksesuarlari/gbk-inx-series.htm>)

Erişim Tarihi: 18.03.19)

¹¹⁹ B. D.Geylani (2015) *Çağdaş Cam Sanatında Açık Alevde Çalışmanın Yeri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul : Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.s.45



Görsel 3.5. Cam elyaf ve Vermikulit
(<https://www.cammalzeme.com/sogutma-kumu>, Erişim Tarihi: 25.03.19)

3.2.4.4 Soğuk cam şekillendirme tekniklerinde tavlama işlemi ve kullanılan gereçler

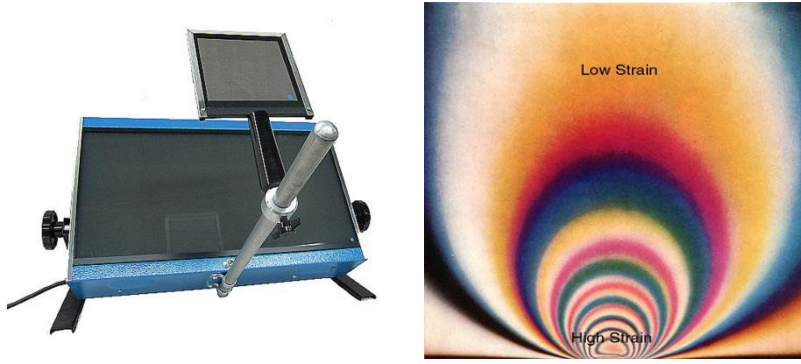
Soğuk cam şekillendirme tekniği, kütle şeklinde bulunan camın çeşitli soğuk cam aletleri ile şekillendirilmesi işlemidir. Bu işlemde fırında şekillendirme amaçlı ısıtma işlemi uygulanmamaktadır. Bu işlem yapılmadan önce camın içindeki gerilimlerin olup olmadığına bakılması gerekmektedir. Camda gerilim varsa cam ısıtılır ve tekrar tavlama böylece camın soğuk işlem yapılırken kırılmaması ya da gerilmeden kaynaklı parçalanmaması sağlanmaktadır. Camın tavlama tamamlandıktan sonra cam istenilen şekilde soğuk işlem uygulanarak şekillendirilir.

3.2.5. Polariskop

Camdaki gerilimler çıplak göz ile görülemez bu yüzden cama polariskop ile incelenmesi gereklidir. Atomik deformasyon adı verilen, atomların arasındaki boşluğun farklı yönlerde farklılık göstermesi nedeniyle gerilimlerin ısıtma yada soğutma v.b durumlarla ortaya çıkarılmasıdır.¹²⁰ Camın içerisindeki gerilimi daha iyi görebilmek için polarize ışığa ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle saydam camlarla polariskop ile gerilimler tespit edilmektedir. Bazen kullanılan yeşil, bal rengi gibi koyu renkte olan camlarda ışığın nüfuz etmesine imkan vermedikleri için camın içerisindeki gerilimleri polariskop ile belirlenmektedir.¹²¹ Camın içerisinde oluşan gerilimleri, renk halkalarına bakılarak yorumlanabilir; renk halkaları sık bir şekilde ve koyu (high strain) renklerin çokluğuna göre içerisinde gerilimin yüksek olduğunu, renk halkaları seyrek ve açık (low strain) renklerde ise gerilimin çok az olduğu hatta olmadığı şeklinde belirlenebilmektedir.

¹²⁰ Şişecam, a.g.k.,

¹²¹ Şişecam, a.g.k.,



Görsel 3.6. 10 x 19" Polariskop gerilim skalası görselleri

(<http://www.nortelglass.com/polariscopes.shtml>, Erişim Tarihi: 25.03.19)

3.3. Tavlama Sırasında Oluşan Hatalar

Cam üretimi sırasında tavlamadan kaynaklı veya başka sebeplerden dolayı camda hatalar meydana gelebilmektedir. Bu hatalar önceden belirlendiğinde önlem alındığında hatalar giderilebilir, bazı hatalar önlem alınsa bile etkisi devam edebilmektedir.

Cam hataları üretimin her aşamasında meydana gelebileceği için hata olduğunda tüm aşamaların kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu aşamalar şöyledir; harman kompozisyonu, fırının içerisine harmanın konulması sırasında oluşabilecek toz v.b şeylerin harmana girmesi, fırın içerisinde ergitme yapılması ve tavlama sırasında oluşabilecek tüm hatalardır.

Cam hataları, tavlama işleminin ardından ya ölçüm yolu ya da görsel muayene ile kontrol edilmektedir. Bu muayenenin ardından camda görülmesi beklenen olaylar şu şekildedir;

- Habbe
- Taş
- Homojenite (damar)
- Devitrifikasyon

Görsel olarak kontrol edilen camlar elde tutularak yapılsa bile tavlama ve homojenlik için polariskop kullanılmaktadır. Bu işlemin yapılması cam eser üretenler için nasıl ve ne kadar dayanıklı olduğunu görerek eserlerini o doğrultuda üretirler. Bu sayede eserlerini devamlılığını kontrol altında tutmaktadırlar.

Cam kontrolleri hammadde kontrolleri ve cam fiziki kontrolleri olmak üzere ikiye ayrılır;

Hammadde kontrollerinde elek ve kimyasal analizler yapılır. Elek analizi cam tanelerinin büyüklüklerine göre ayrılır ve bu işlem de elek ile yapılır. Eğer cam taneleri büyük ise ergime ve rafinasyon bölümlerini etkiler. Tane boyları büyük ise taşlar meydana gelir, küçük ise rafinasyon yetersiz olur. Kimyasal analizler ise hammaddeler doğal olduğundan yapılmaktadır ve cam kompozisyonlarını ve cam özelliklerini etkileyebileceği için kimyasal analiz yapılmalıdır.

Cam fiziki kontrollerinde dansite ve yumuşama noktası kontrol edilir. Dansite, cam kompozisyonunun her zaman aynı olup olmadığını harmanın ve cam hazırlama prosesinin başarılı olup olmadığını göstermektedir. Aynı üründen birkaç örnek alınıp analiz yapılır ise camın homojenlik seviyesi belli olmaktadır. Yumuşama noktası cam çubuğun yüzeylerinin eşit bir şekilde ısıtılıp çekilmesi ile uzama hızının gözlemlenmesi ile tayin edilmektedir. Bu sayede cam kompozisyonundaki değişim gözlenir ve gerekirse düzeltici yönde doğru bir müdahale yapılmaktadır.

3.3.1. Habbe

Camın içerisinde bulunan gaz miktarlarının fırının sıcaklığına, iç basıncına ve ergimiş camın kimyasal bileşimine, özellikle ergimiş camın yükselten ve indirgen durumuna bağlıdır. Bu şartlardaki camlarda fırının sıcaklığında bir artış veya fırın basıncında düşüşü camda habbelerin oluşmasını neden olmaktadır.¹²²

Camın içerisinde oluşan gaz kabarcıkları habbecik, habbe, iri habbe olarak üç gruba ayrılmıştır.

Habbecikler gaz kabarcıklarının 0,5 mm'nin altında ve camın her tarafında olan gaz kabarcıklarıdır. Bu gaz kabarcıkları çoğu kez cam hazırlanırken ergime ve rafinasyon aşamalarından kaynaklanır. Cam için uygun süre girilmediği, camı yeterince ergime ve rafinasyon sıcaklığına ulaşmadığı zamanlarda karşımıza çıkabilmektedir.

Habbe, ergime sırasında camın içerisinde havanın hapsolmasıdır. İri habbe, çözünememiş halde olan gaz kabarcıklarıdır. “Rafinasyon, cam hazırlama işleminin ergime aşamasında camın gaz kabarcıklarından temizlenmesi ve kimyasal açıdan homojen hale gelmesidir. Geleneksel olarak rafinasyon habbelerin uzaklaştırılmasıdır.”¹²³

¹²² Şişecam, a.g.k.,

¹²³ Megep, a.g.k., (2013)

Kalıp yönteminde kullanılan camların küçük boyutlarda olması ergime sırasında camın içerisinde küçük hava kabarcıklarına oluşmasına neden olmaktadır.

3.3.2. Taşlar

Cam ergimesi sırasında ya da harman hazırlanırken içerisinde fırın refrakterleri, devitrifikasyon ya da bazı kirlilikler gibi nedenlerle cama girmiş katı maddeler olabilmektedir.

Harmanın içinde oluşan taşların sebepleri; harmanın çok iri taneli maddeleri içermesi, harmanın nemli olması, ergime derecesi yüksek olan hammaddelerin katılaşmasıdır.

Fırın içerisinde bulunan refrakter taşlarını aşındırmadan muhafaza edilmelidir. Eğer fırının üst kısmında yanlış refrakter kullanır ise refrakterler kimyasal, fiziksel reaksiyona girerler ya da bitişik refrakterler ile reaksiyona girerek parçalanmalara sebep olabilmektedir. Bu reaksiyonlar sıcaklığın etkisiyle refrakterleri yumuşatırlar. Bu parçalar ergimiş olan camın içerisine, yüzeyine düşerek habbe veya taşlamaya sebep olmaktadır.

Harman için kullanılan camlar eğer daha önce kullanılmış olup ya da kırık halde bulunan camlar kullanır ise karışım içerisine karışacak kirli camlar camı kirlitebilmektedir. Camın içerisinde oluşan siyah benekler ise çözünmemiş kromit taneleridir. Metal resistansların aşırı ısınıp kırılması ile meydana gelebilmektedir.¹²⁴ Alüminyum şişe kapaklarının ya da alüminyum yıldız kağıtlarının cam kırıkları ile birlikte fırının içerisine girmesi ile camın içerisinde taşlar oluşmaktadır.

3.3.3. Homojenite (Damar)

Damar oluşumu camda homojenite yetersizliğinden dolayı ortaya çıkarmaktadır. Bu hataların oluşması cam harmanının yetersizliği, sıcaklık seviyesinin düzensiz oluşu ve eriyen camın tam anlamıyla karışmamasından meydana gelmektedir.

“Cam bünyesine giren çeşitli oksitlerin cam içinde dengeli dağılması, kimyasal ve fiziksel etkileşmenin en ileri düzeyde gerçekleşmesi olayıdır. Cam tamamen eridiği, yani harmandan tamamen arınmış hale geldiğinde, bünyesinde kimyasal kompozisyonu etkileyecek farklı çeşitli bölgeler içermektedir. Bu kompozisyon farkı, doğal olarak, camda bölgesel olarak

¹²⁴ Şişecam, a.g.k.,

fiziksel ve kimyasal özellik farklılaşmalarını ve dolayısıyla bütünlüğün bozulması sonucunu damar oluşumunu doğrulanmaktadır”.¹²⁵

Kimyasal inhomojenite; camın içerisinde oluşan ince çizgi, çizgilerin keskin veya şiddetli olarak cam içerisinde görülebilmektedir. İçerisinde damar oluşan camın ışık kırıcılığından farklı olduğu için gözle görülmediğinde polariskop ile bakılması gerekmektedir. Camı içerisinde oluşan gerilimin boyutu ve türü kompozisyon farkına bağlıdır.

Camda inhomojenite nasıl oluşur;

1. Harmanın yetersiz karışımı,
2. Ergitme koşullarındaki ani değişimler,
3. Cam çekişindeki dalgalanmalar,
4. Refrakter kökenli kapanımlar
5. Düzensiz koşullandırma sıcaklıkları ile oluşmaktadır.

3.3.4. Devitrifikasyon

Camın şartlandırma aşamasında kristallenme sıcaklığı civarında ya da altında bekletilmiş olmasının bir sonucudur. Camın tavlama sıcaklığının üstüne kadar ısıyı düşürme işlemi, uygulanan programa devam etmeden önce düşürülen sıcaklığı sabitlemek için bir süre orada bekletilmesi gerekir bu sayede devitrifikasyon oluşumundan kaçınılmaktadır.¹²⁶ Devitrifikasyon; cam yüksek sıcaklıklarda çok uzun süre tutulursa cam beyazımsı bir pus ve çatlak oluşabilmektedir.¹²⁷

Cam hatalarını analiz etme yöntemleri ise şu şekildedir;

- Çıplak göz ile analiz etme
- Polariskop ile analiz etme
- Polarize mikroskop ile analiz yöntemleridir.

Çıplak göz ile analiz etme yöntemi cam içerisinde oluşan hatanın gözle görebilecek büyüklükte olmasıdır. Camda habbe, renk, taş oluşumunda çıplak göz ile analiz edilebilmektedir.

¹²⁵ Arıburnu, **a.g.k.**, (2015)

¹²⁶ Cumming, **a.g.k.**,(2001)

¹²⁷ Coldiron, **a.g.k.**,(2012)

Polariskop ile analiz etme ise camda oluşabilecek gerilimlerin gözle görülemeyeceğinden dolayı polariskop ile analiz edilmesi gerekmektedir. Camın içerisinde genleşme farkın dolayı bir hata oluşmaktadır.

Polarize mikroskop ise çıplak göz ile veya polariskop ile bakıldığında anlaşılmayan durumlarda polarize mikroskobu ile bakılmaktadır.

3.3.5. Cam tavlama hataları nasıl önlenir

Cam hatalarının şiddetini veya ortaya çıkışını azaltan en iyi yol cam sürecini doğru uygulamak ve kontrol altında tutmaktır. Cam hatalarının önlenmesi için sürekli cam harmanını ve üretilen eserin kontrol edilmesi bir zorunluluktur. Habbelerin büyüklüklerine göre işlem uygulandığında daha önceki hallerine göre nasıl tepkiler verildiğine bakılması gerekmektedir. Uygulanan sıcak işlemi sırasında hatanın nasıl giderildiğinin iyi bir şekilde gözlenmesi gerekmektedir. Damarların oluşumunun nasıl olduğunu damarın kalınlığına, boyutuna ürünün üzerindeki etkisi ve pozisyonuna bakılarak anlaşılmaktadır. Damarın şekli, rengi ve taşlarla ilişkisi olup olmadığı da cam ile ilgili bilgi vermektedir. Damarın oluşumunu engellemek için cam harmanının temiz olması ve ergitilme sırasında sıcaklığın yeterli olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Camın içerisinde oluşan taşlanmalarda camın kirli olmasından kaynaklı harman sırasında veya diğer aşamalarda dikkat edilmelidir.

Her bir fırının optimum tavlama sıcaklığını belirlemek için test edilmesi gereklidir. 10°C kadar soğuk bir fırın, stresi gidermek için gereken ısıtma süresini 10 kat arttırabilir. Sıcak camda geriliminin oluşumunda giderilmesi için en etkili yoldur. Ağız kısmı açık bir şekle sahip üfleli camlar için standart, her 6mm için cam için bir saat tavllanmış olması önerilmektedir. Kapalı formları, şişeleri kürelerin üretimini yapıyorsanız duvar kalınlığınızın iki katı olduğunu varsayalım tavlama ve soğutma kapalı formlarda uzun sürmektedir.¹²⁸ Sıcaklık çok düşükse, gerilimler çok yavaş gevşeyecektir, dolayısıyla istenen tavlama derecesini elde etmek için çok uzun bir toplam süre gerekecektir. Cama uygulanan bu sürede sıcaklık çok yüksek ise camın deforme olma veya karakterini değiştirme tehlikesi artmaktadır.¹²⁹

¹²⁸ Halem, a.g.k,(1996)

¹²⁹ Halem, a.g.k.,(1996)

Çoğu fırın diyagramı camın basit, eşit kalınlıkta bir levha olduğunu varsaymaktadır. Durum böyle değilse, işin en kalın kısmı için tavlama yapılmalıdır. Tavlama sırasında asla fırın açılmamalıdır. Küçük bir oda sıcaklığındaki hava akımı bile cama stres verebilmektedir.¹³⁰

¹³⁰https://fusedglass.org/learn/technical_tutorials/glass_firing_schedules/learn-technical_tutorials-glass_firing_schedules-annealing/ (Erişim Tarihi 02.04.19)

4. DENEYLER

Cam şekillendirme işlemi yapıldıktan sonra fırın içerisinde tavlama işlemi yapılmaktadır. Ergitme işlemi yapılan bu camların tavlama sıcaklığı ve tavlama süresi bilinmiyorsa soğutma sırasında cam içerisinde gerilimler meydana gelmektedir. Tavlama işlemi uygulanacak camın tüm özellikleri dikkate alınacak şekilde tavlama işleminin uygulanması gerekmektedir. Tavlama sıcaklığı bilinmiyorsa deneme yanılma yöntemi, çubuk yöntemi, tavlama sıcaklığı ölçme aleti ile tavlama derecesi bulma gibi farklı yöntemlerle tavlama sıcaklığı bulunabilmektedir.

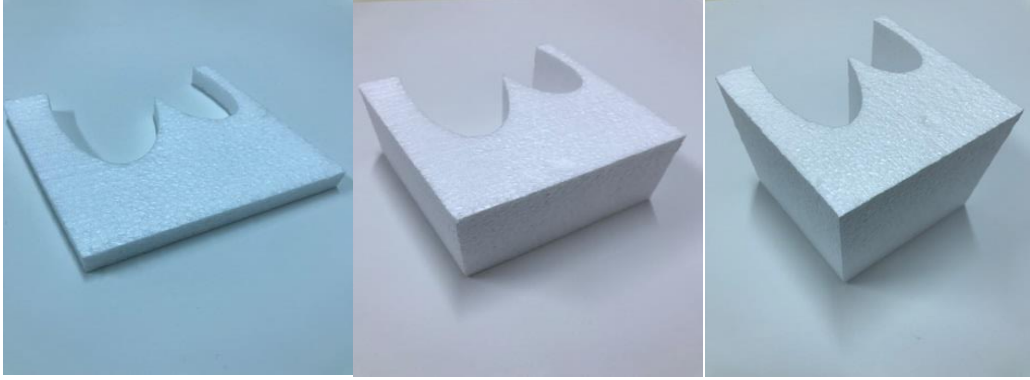
Tezdeki denemelerde kullanılan camlar; Glassma 705, Ornella (Preciosa) renksiz şeffaf ve Ornella (Preciosa) şeffaf mavi rengidir. Ornella camlarının içerisinde yüksek oranda kurşun oksit bulunmaktadır. Ornella camları cam heykellerde hem saydamlık ve yarı saydamlık özelliklerinin kaliteli olması hem de Türkiye’de yaygın kullanım olanağı ve kolaylıkla temin edilebilme seçenekleri nedeniyle tercih edilmektedir. Ornella camlarının karakteristik özellikleri düşük viskozite, düşük soğutma sıcaklığı ve deformasyon noktası, yüksek yüzey kalitesi, yüksek dağılım ve optik netlik ve ayrıca soğuk şekillendirme tekniği için mükemmel özelliklerdir. Glassma 705 camların içerisinde ise baryum vardır ve bu cama soda kireç camlarından farklı kristalimsi bir etki sağlar. Camda yüksek kırılma indisi sağlanır bu da parlaklık katar.

Camların tavlama sıcaklığı onları satan firmalar tarafından bilinmemektedir. Atölyesinde üretim yapan bir cam sanatçısı eğer atölyesinde tavlama sıcaklığı ölçme aleti yok ise deneme yanılma yöntemi ile camların tavlama noktasını bulabilmektedir. Camın tavlamasında kullanılacak olan modellerin ince, kalın veya düz ve kıvrımlı gibi farklı şekillerde olması yapılan denemelerin içinde oluşacak farklı streslerin veya çatlakların görülmesini sağlamaktadır. (Görsel 4.1.) Bu yüzden modellerden 1cm, 3cm ve 5 cm olmak üzere strafor kesimi yapılmıştır. Bu kıvrımlarda oluşabilecek stresler polariskop yardımı ile gözlenmiştir.

Tavlama işlemi üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada; camın tavlama sıcaklığı olduğu düşünülen sıcaklıkta camın et kalınlığına bağlı olarak farklı sürelerde tavlama işlemi yapılmıştır. İkinci aşamada; tavlama sıcaklığını yaklaşık 50°C yavaş hızda düşülmüş. Bu noktada belirli süre beklenilmiş camın tavlama sıcaklığı bölgesinde gerilim noktası civarında iç gerilimlerin giderilmesi daha yavaş hızda sürdürülmüştür. Üçüncü aşama; gerilim noktasının yaklaşık 50°C altına daha hızlı bir şekilde

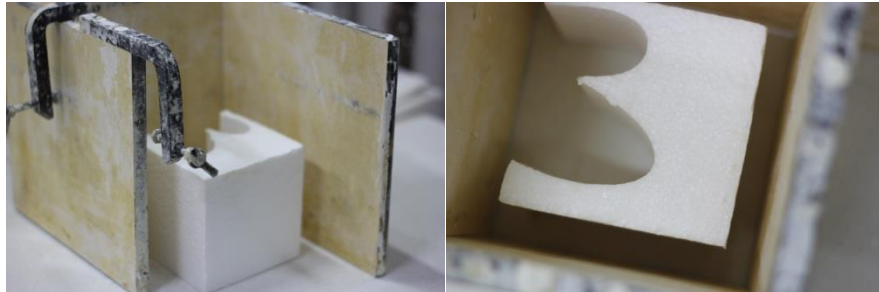
soğutulmuş. Bu sıcaklıkta beklenerek kalıbın üst kısmı ile alt kısmının dolasıyla iç gerilimlerinin eşitlenmesi sağlanmıştır.

Yapılan deneylerde ikinci ve üçüncü aşama aynı şekilde gerçekleştirilmiş. Karşılaştırılmanın daha anlamlı olabilmesi için camların sadece ilk aşamadaki tavlama sıcaklığı, tavlama süreleri değiştirilmiştir. Bu sayede sonuçlar kendi içinde daha net olacak şekilde karşılaştırılmıştır.



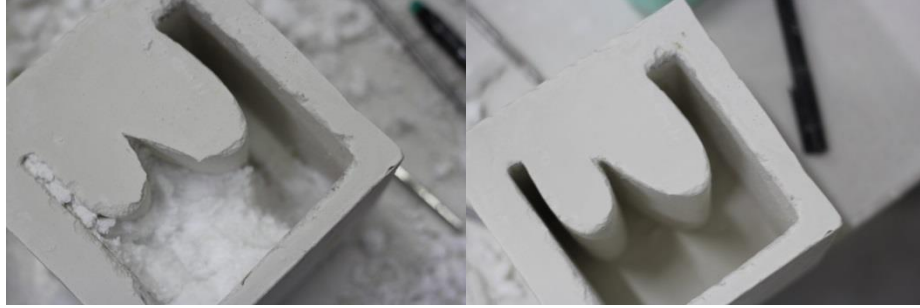
Görsel 4.1. Modellerin strafor halleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

Hazırlanan modellerin kalıp karışımı %50 alçı %50 kuvars ve su olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan bu refrakter kalıp karışımıyla modellerin kalıpları alınmıştır(Görsel4.2). Kalıp karışımında kuvars'ın tercih edilme nedeni; hem kolay ve ucuz temin edilebilen bir malzeme olması hem de alçının yüksek sıcaklığa kuvars ilaveli karışım sayesinde dayanım gösterebilmesidir. Eğer kuvars eklenmezse yüksek sıcaklığa çıkıldığında alçı çatlar ve cam dışı akar.



Görsel 4.2. Modellerin kalıp alınması için hazırlanması
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

Strafor modellerin alçı içerisinde çıkarılıp görsel 4.3.'teki kalıpların elde edilmesiyle hazırlanan kalınlıklarda döküm yöntemiyle cam şekillendirme işlemi için kalıplar hazır hale getirilmiştir.



Görsel 4.3. Kalıbı alınan straforların alçı içerisinde çıkarılması
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

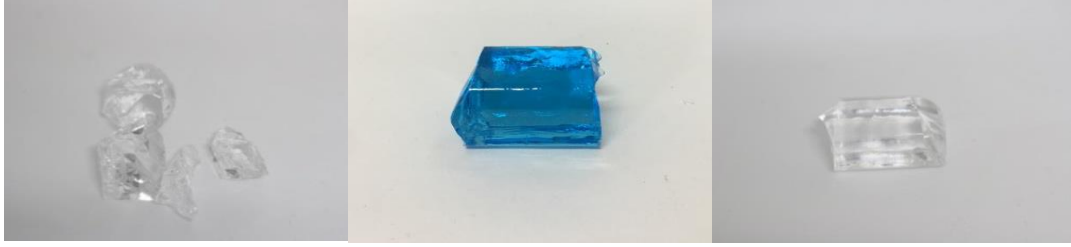


Görsel 4.4. Kalıplar için kullanılan fırın
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)



Görsel 4.5. Kalıpların fırın içerisindeki görüntüsü
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

Çalışmada kullanılan bu camlar Glassma 705, Ornella renksiz şeffaf ve Ornella şeffaf mavi olduğundan deneylerin yapılması için camlara uygun farklı diyagramlar kullanılmıştır.



Glassma 705

Ornella şeffaf mavi

Ornell renksiz şeffaf

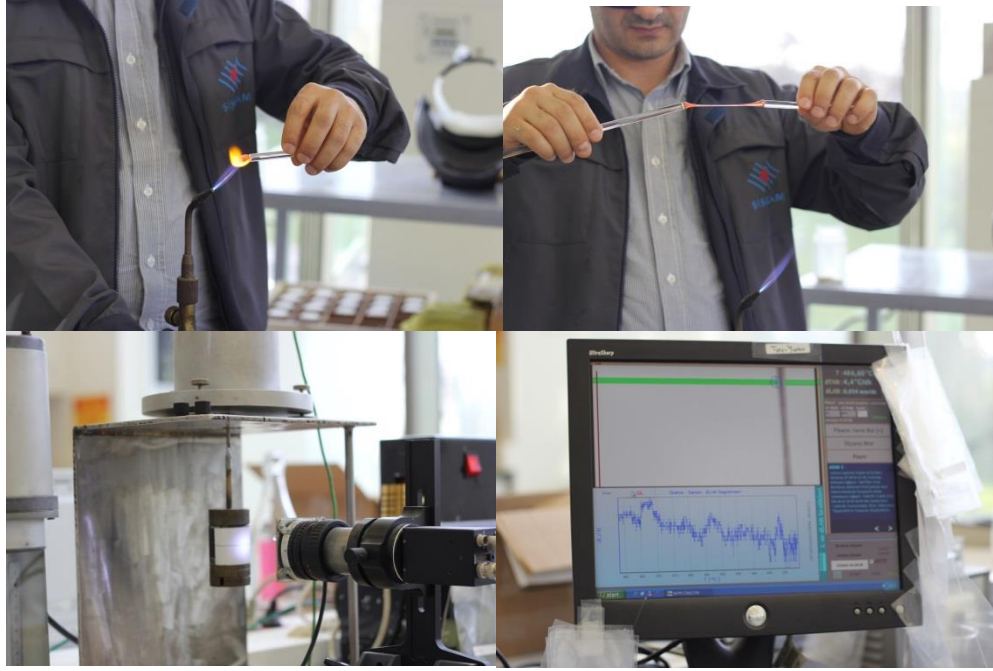
Görsel 4.6. Deneylerde kullanılan camlar
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.1. Araştırmada Kullanılan Camların Tavlama Sıcaklıklarının Tespiti

Camın eğer tavlama sıcaklığı bilinmiyorsa, deneme yanılma yönteminin yanı sıra bir de tavlama sıcaklığı ölçme aleti ile ölçüm yapılabilir. Hangi camlarda tavlama sıcaklığı ölçümü yapılacak ise ilgili camlar küçük boyutlarda kesilir, bunun sebebi camların ince uzun çubuk şeklinde çekilmesidir(Görsel 4.7.). İnce çubuk şeklinde olan bu camlar sistemin içerisine yerleştirilir. İnce cam çubuğun alt kısmına bir ağırlık yerleştirilir ve sıcaklık uygulandığında ölçüm aleti, camın uzaması ile ölçümünü yapar.(Görsel 4.8.)



Görsel 4.7. Camların küçük boyutlarda kesilmiş hali
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)



Görsel 4.8. Tavlama sıcaklığı ölçme aleti camların ölçü sırası
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

Yukarıda anlatılan şekilde araştırmalarda kullanılan camların tavlama sıcaklıkları ve gerilim noktaları belirlenmiştir.

Tablo 4.1. Camların tavlama ve gerilim sıcaklıkları

Cam Tipi	Tavlama Sıcaklığı	Gerilim Sıcaklığı
Glasma 705	$T_A: 508,7^{\circ}\text{C}$	$T_{ST}: 473,3^{\circ}\text{C}$
Ornella Renksiz Şeffaf	$T_A : 516,3^{\circ}\text{C}$	$T_{ST} : 478,6^{\circ}\text{C}$
Ornella Şeffaf Mavi (6000)	$: T_A: 470,0^{\circ}\text{C}$	$T_{ST} : 430,0^{\circ}\text{C}$

İkinci yöntem için camlar çeşitli sıcaklıklarda ve sürelerde tavlansak ardından polariskop ile kontrol edilerek tavlama işleminin optimum olup olmadığı tespit edilmiştir. Bunun için belirlenen tavlama noktalarında farklı süreler verilip bekleme yaparak tavlama işleminin ilk evresiyle ilgili denemeler yapılmıştır.

Bu denemelerde Ornella için ;

460°C, 470°C, 510°C ve 550°C’de 15', 60' ve 600''lık bekleme yapılarak oluşturulan fırın diyagramları Tablo 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5’te verilmiştir.

Tablo 4.2. 850°C’de kalıpta şekillendirmenin ardından 430°C’de çeşitli sürelerdeki yapılan 3 farklı tavlama işleminin fırın diyagramları

Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)
360 '	590 °	60 '	360 '	590 °	60 '	360 '	590 °	60 '
Skip	850 °	300'	Skip	850 °	300'	Skip	850 °	300'
Skip	430°	15 '	Skip	430°	60'	Skip	430°	600'
420'	425°	15'	420'	425°	15'	420'	425°	15'
150'	375°	15 '	150'	375°	15 '	150'	375°	15 '
180'	275°	15'	180'	275°	15'	180'	275°	15'
240'	30°	15 '	240'	30°	15 '	240'	30°	15 '
0			0			0		

Tablo 4.3. 850°C’de kalıpta şekillendirmenin ardından 470°C’de çeşitli sürelerdeki yapılan tavlama işleminin fırın diyagramları

Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak)	Sıcaklık (°C)	Beklem e Süresi (Dak.)
360'	590 °	60'	360 '	590 °	60 '	360 '	590 °	60 '
Skip	850 °	300'	Skip	850 °	300'	Skip	850 °	300'
Skip	470°	15'	Skip	470°	60'	Skip	470°	600'
420'	425°	15'	420'	425°	15'	420'	425°	15'
150'	375°	15'	150'	375°	15'	150'	375°	15 '
180'	275°	15'	180'	275°	15'	180'	275°	15'
240'	30°	15'	240'	30°	15 '	240'	30°	15 '
0			0			0		

Tablo 4.4. 850°C’de kalıpta şekillendirmenin ardından 510°C’de çeşitli sürelerdeki yapılan tavlama işleminin fırın diyagramları

Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)
360 '	590 °	60'	360 '	590 °	60'	360 '	590 °	60 '
Skip	850 °	300'	Skip	850 °	300'	Skip	850 °	300'
Skip	510°	15'	Skip	510°	60'	Skip	510°	600'
420'	425°	15'	420'	425°	15'	420'	425°	15'
150'	375°	15'	150'	375°	15'	150'	375°	15'
180'	275°	15'	180'	275°	15'	180'	275°	15'
240'	30°	15'	240'	30°	15'	240'	30°	15'
0			0			0		

Tablo 4.5. 850°C’de kalıpta şekillendirmenin ardından 550°C’de çeşitli sürelerdeki yapılan tavlama işleminin fırın diyagramları

Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)
360 '	590 °	60'	360 '	590 °	60'	360 '	590 °	60 '
Skip	850 °	300'	Skip	850 °	300'	Skip	850 °	300'
Skip	550°	15'	Skip	550°	60'	Skip	550°	600'
420'	425°	15'	420'	425°	15'	420'	425°	15'
150'	375°	15'	150'	375°	15'	150'	375°	15'
180'	275°	15'	180'	275°	15'	180'	275°	15'
240'	30°	15'	240'	30°	15'	240'	30°	15'
0			0			0		

Glasma 705 için ;

470°C, 510°C ve 550°C’de 15', 60' ve 600’’lık sürelerde bekleme yapılarak gerçekleştirilen tavlama işlemi için kullanılan fırın diyagramları Tablo 4.6, 4.7 ve 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.6. 850°C’de kalıpta şekillendirmenin ardından 470°C’de çeşitli sürelerdeki yapılan tavlama işleminin fırın diyagramları

Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)
360 '	590 °	60'	360 '	590 °	60'	360 '	590 °	60 '
Skip	850 °	300'	Skip	850 °	300'	Skip	850 °	300'
Skip	470°	15'	Skip	470°	60'	Skip	470°	600'
420'	425°	15'	420'	425°	15'	420'	425°	15'
150'	375°	15'	150'	375°	15'	150'	375°	15'
180'	275°	15'	180'	275°	15'	180'	275°	15'
240'	30°	15'	240'	30°	15'	240'	30°	15'
0			0			0		

Tablo 4.7. 850°C’de kalıpta şekillendirmenin ardından 510°C’de çeşitli sürelerdeki yapılan tavlama işleminin fırın diyagramları

Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)
360 '	590 °	60'	360 '	590 °	60'	360 '	590 °	60 '
Skip	850 °	300'	Skip	850 °	300'	Skip	850 °	300'
Skip	510°	15'	Skip	510°	60'	Skip	510°	600'
420'	425°	15'	420'	425°	15'	420'	425°	15'
150'	375°	15'	150'	375°	15'	150'	375°	15'
180'	275°	15'	180'	275°	15'	180'	275°	15'
240'	30°	15'	240'	30°	15'	240'	30°	15'
0			0			0		

Tablo 4.8. 850°C’de kalıpta şekillendirmenin ardından 550°C’de çeşitli sürelerdeki yapılan tavlama işleminin fırın diyagramları

Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)
360 '	590 °	60'	360 '	590 °	60'	360 '	590 °	60 '
Skip	850 °	300'	Skip	850 °	300'	Skip	850 °	300'
Skip	550°	15'	Skip	550°	60'	Skip	550°	600'
420'	425°	15'	420'	425°	15'	420'	425°	15'
150'	375°	15'	150'	375°	15'	150'	375°	15'
180'	275°	15'	180'	275°	15'	180'	275°	15'
240'	30°	15'	240'	30°	15'	240'	30°	15'
0			0			0		

Ornela şeffaf mavi camları için ;

550° C’de 15', 60' ve 600'’lık beklemlerde gerçekleştirilen tavlama işlemlerinin fırın diyagramları Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9. 850 °C’de kalıpta şekillendirmenin ardından 550°C’de çeşitli sürelerdeki yapılan tavlama işleminin fırın diyagramları

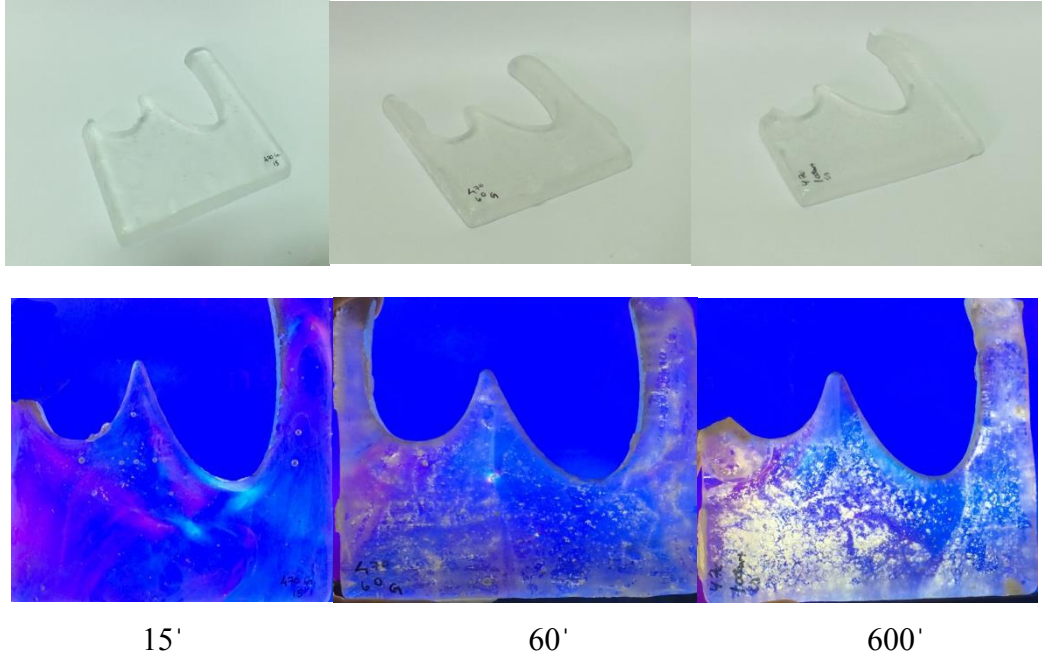
Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)
360 '	590 °	60'	360 '	590 °	60'	360 '	590 °	60 '
Skip	850 °	300'	Skip	850 °	300'	Skip	850 °	300'
Skip	550°	15'	Skip	550°	60'	Skip	550°	600'
420'	425°	15'	420'	425°	15'	420'	425°	15'
150'	375°	15'	150'	375°	15'	150'	375°	15'
180'	275°	15'	180'	275°	15'	180'	275°	15'
240'	30°	15'	240'	30°	15'	240'	30°	15'
0			0			0		

4.2. Farklı Kalınlık, Tavlama Sıcaklığı Ve Bekleme Sürelerine Göre Tavlama Denemeleri

4.2.1. Glasma 705 cam denemeleri

4.2.1.1. 1 cm'lik Glasma 705 camının 470°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

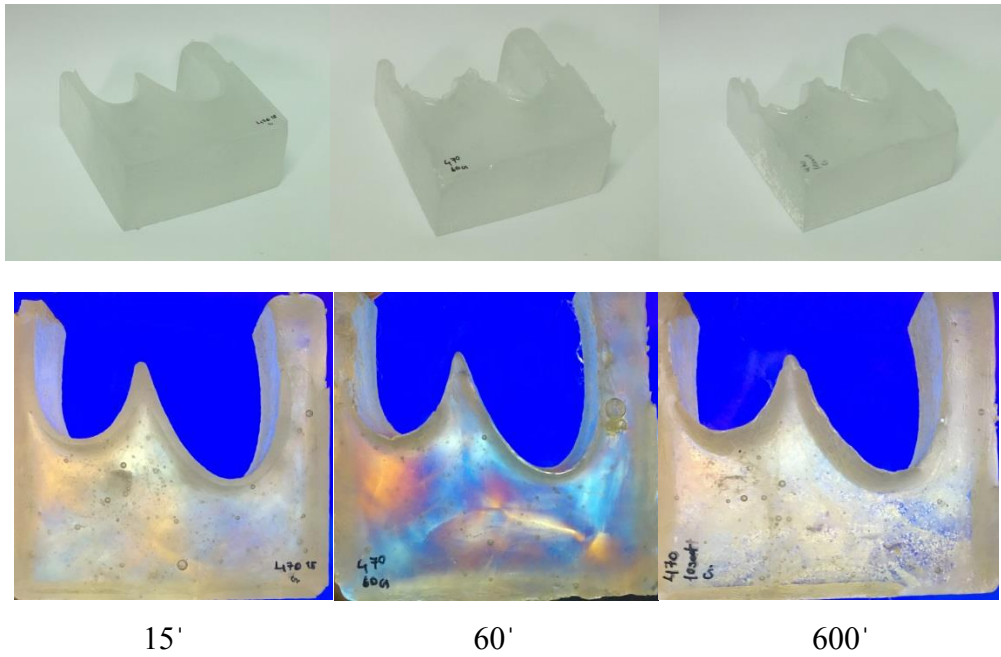
1 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camları için yukarıdaki fırın diyagramlarında belirtildiği şekilde 470 °C'de 15, 60 ve 600 dakika boyunca tavlama işlemi uygulanmıştır. Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.9'daki gibidir. Görüldüğü gibi 1 cm et kalınlığındaki camlarda gerilim bulunmaktadır. İnce kısımlarında tavlama sıcaklığının ve süresinin uygun olmamasından kaynaklı kırılmalar meydana gelmiştir. Kalınlığının 1 cm olmasına rağmen kıvrımların ve orta kısımlarda gerilimin olduğu görülmektedir. Bu parametrelerin tavlama için uygun olmadığı görülmüştür.



Görsel 4. 9. 1 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 470°C 15,60 ve 600 dakikada tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.1.2. 3cm'lik Glasma 705 camının 470°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

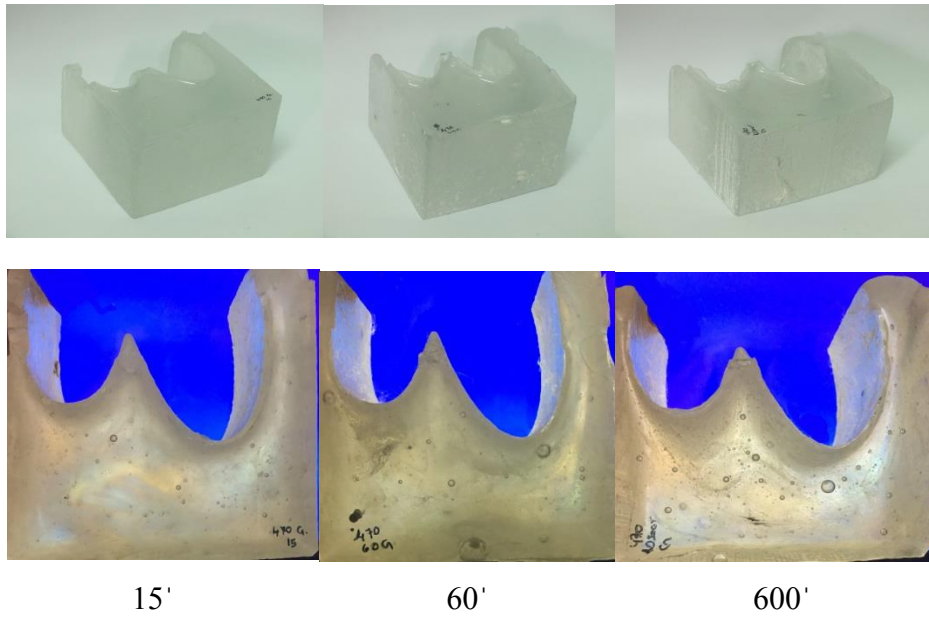
3 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camlarının 470°C'de 15, 60 ve 600 dakika boyunca tavlama işlemi uygulanmıştır. Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.10' daki gibidir. Görüldüğü gibi 3 cm et kalınlığındaki camlarda gerilim ve hava kabarcığı bulunmaktadır. Camdaki sarı renkli bölgeler gerilimin olduğunu göstermektedir. 60' tavlama süresi uygulanan camda gerilimin şiddeti daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Bu parametrelerin tavlama için uygun olmadığı belirlenmiştir.



Görsel 4.10. 3 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 470°C 15,60 ve 600 dakikada tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.1.3. 5 cm'lik Glasma 705 camının 470°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

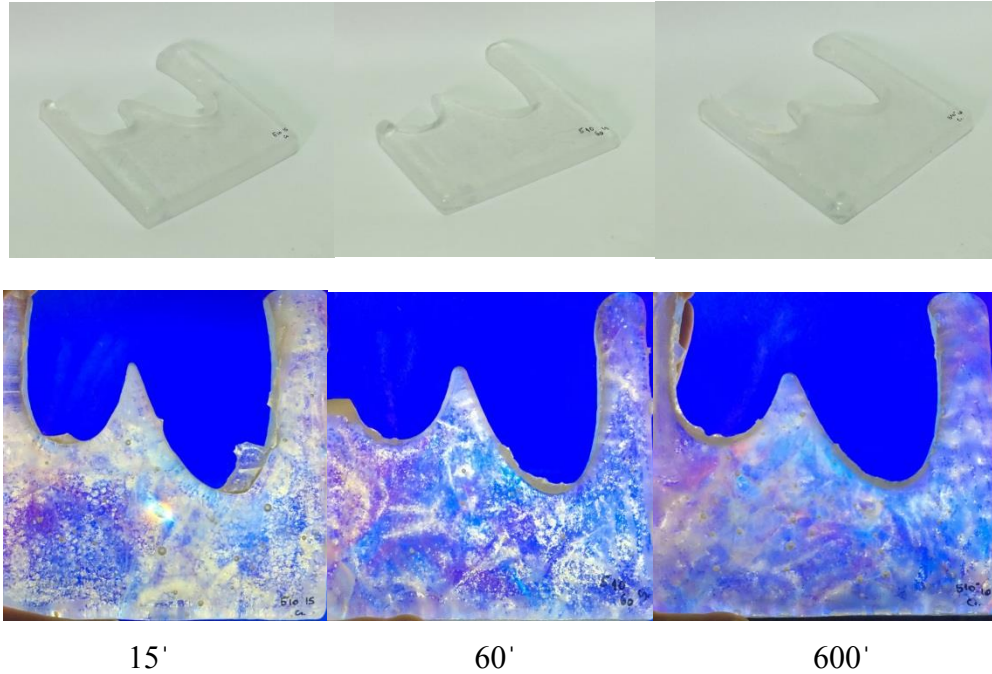
Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.11'deki gibidir. Camın iç kısımlarında ve kıvrım kısımlarında bulunan sarı renkli bölgeler gerilimin olduğunu göstermektedir. Kalınlığın artması ve sürenin yeterli olmamasından kaynaklı 5 cm et kalınlığı olan camlarda gerilim ve hava kabarcığı bulunmaktadır. Polariskop görüntüsünde net olarak görülmesine de sarı ve farklı renkli bölgelerin varlığı gerilimin olmasına işaretler. Bu parametrelerin tavlama için uygun olmadığı görülmüştür.



Görsel 4.11. 5 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 470°C 15,60 ve 600 dakikada tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.1.4. 1cm'lik Glasma 705 camının 510°C'de 15',60' ve 600' tavlama denemeleri

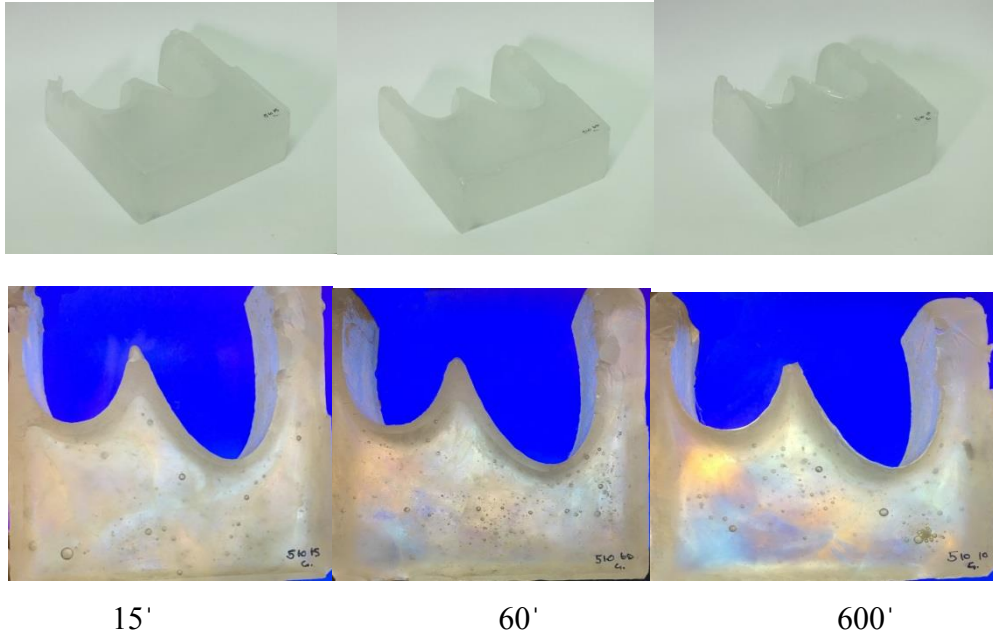
Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.12'deki gibidir. Tavlama sıcaklığının 40 °C artırılması ile uygulanan tavlama işlemi sonucunda gerilim görülmemiştir. 15' boyunca tavlanan 1 cm'lik camda büyük renkli bölgelerin olmaması gerilimin az olduğunu yada hiç olmadığını göstermektedir. 60' tavlanan camda gerilimin biraz azaldığı gözlenmiştir. 600' tavlanan camda renkli bölgelerin daha da azaldığı gözlenmiştir. Gerilim ve hava kabarcığı camların hepsinde bulunmaktadır. Bu parametrelerin 1 cm kalınlığındaki camların 510 °C'de tavllanması için uygun olduğu görülmüştür.



Görsel 4.12. 1 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 510°C 15,60 ve 600 dakikada tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşiv

4.2.1.5. 3 cm'lik Glasma 705 camının 510°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

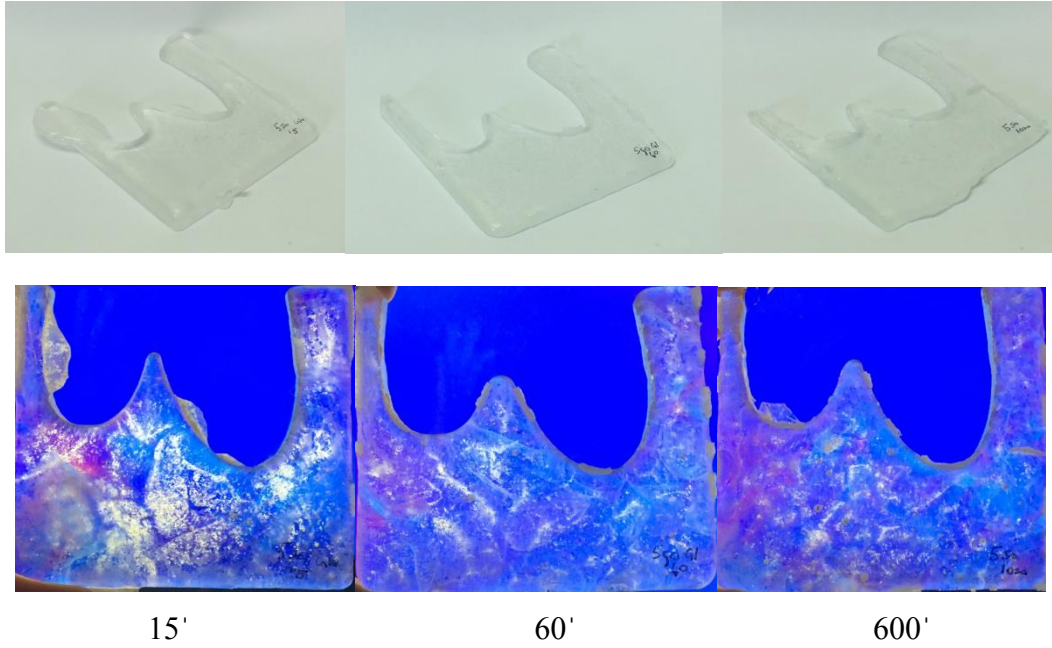
Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.13'deki gibidir. 3 cm et kalınlığında olan ve 15' boyunca tavlanan camda gerilim ve hava kabarcığı bulunmaktadır. 60' ve 600' boyunca tavlanan camlarda, camın yüzeyinin matlaşmasına rağmen, sarı renkli bölgelerin olması gerilimin olduğunu belirtmektedir. Bu parametrelerin tavlama için uygun olmadığı görülmüştür.



Görsel 4.13. 3 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 510°C 15,60 ve 600 dakikada tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.1.7. 1 cm'lik Glasma 705 camının 550°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

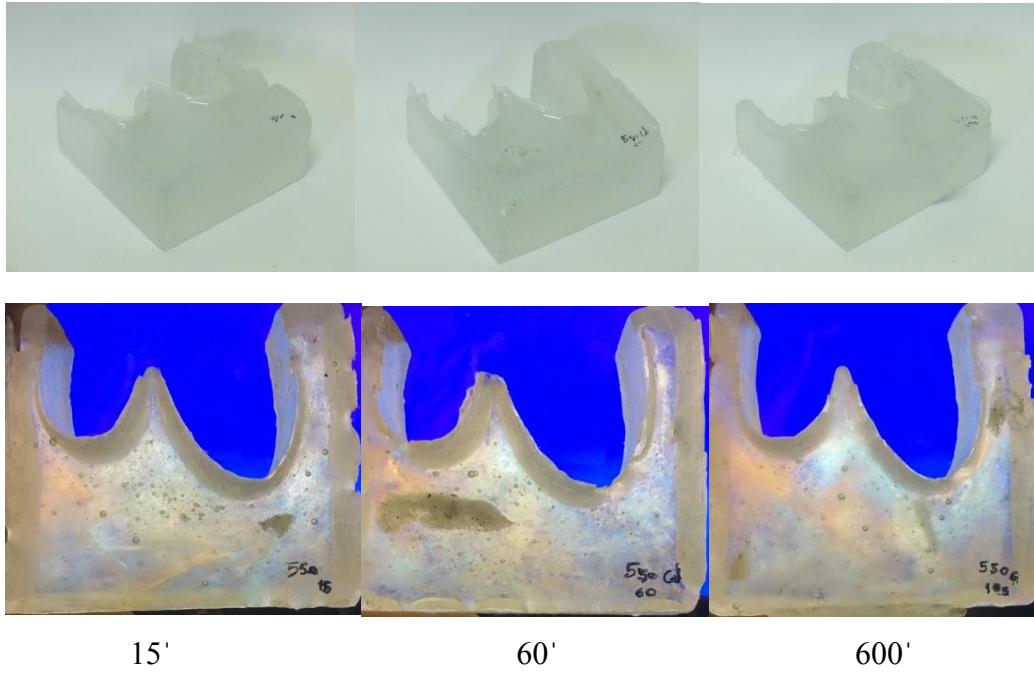
Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.15'te gösterilmektedir. 1 cm et kalınlığındaki camlarda gerilim ve hava kabarcığı görülmedi. Fırın içerisinde bulunan tozun ergitme sırasında yüzeye yapıştığı görülmüştür. Bu parametre cam için uygundur.



Görsel 4.15. 1 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 550°C 15,60 ve 600 dakikada tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.1.8. 3 cm'lik Glasma 705 camının 550°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

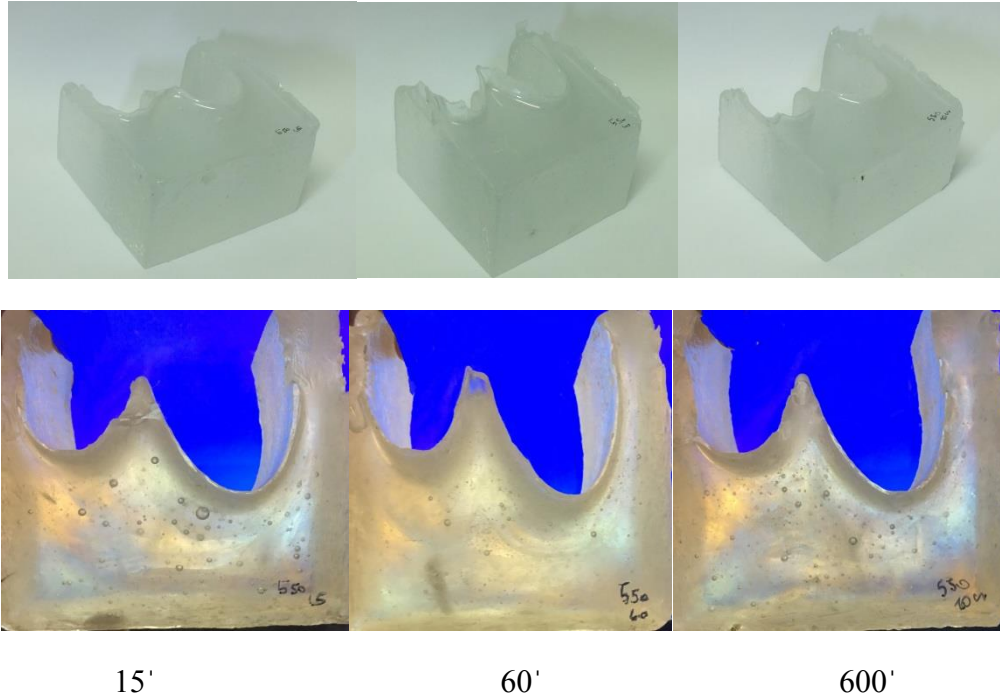
Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.16'daki gibidir. 15' ve 60' olan camlarda fırın camının defalarca kullanılmasından kaynaklı toz gözlenmiştir. 60' ve 600' olan camda gerilim daha az boyuttadır. Sarı ve kırmızı bölgelerin olmasına rağmen kırılmaya neden olacak büyüklükte bir etkisi bulunmamaktadır. Bu parametre cam için uygundur.



Görsel 4.16 3 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 550°C 15,60 ve 600 dakikada tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.1.9. 5 cm'lik Glasma 705 camının 550°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.17'deki gibidir. 5 cm et kalınlığındaki camlarda gerilim gözlenmemiştir. 15', 60' olan camda Sarı renklerin azalması açık mavi renkelerin artması camın kırılmasına etki edecek bir büyüklükte değildir. 600' içerisinde daha az gerilim bulunmaktadır. İçerisinde camın defalarca kullanılmasından kaynaklı az miktarda hava kabarcığı gözlenmiştir. Bu parametre tavlama için uygundur.

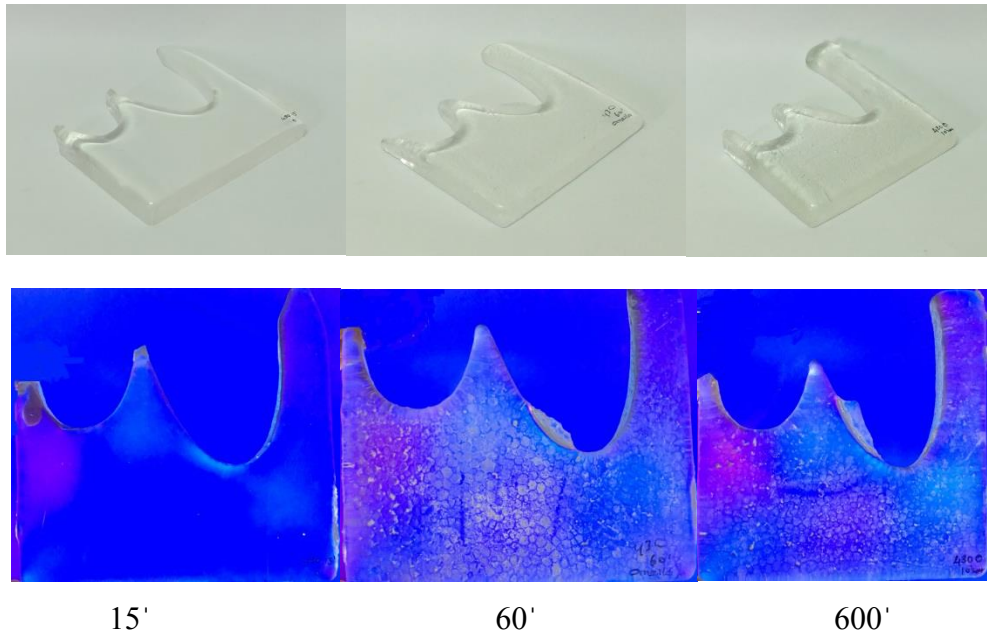


Görsel 4.17. 1 cm et kalınlığındaki Glasma 705 camının 550°C 15,60 ve 600 dakikada tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.2 Ornelle renksiz şeffaf

4.2.2.1. 1cm'lik ornella renksiz şeffaf camının 430°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

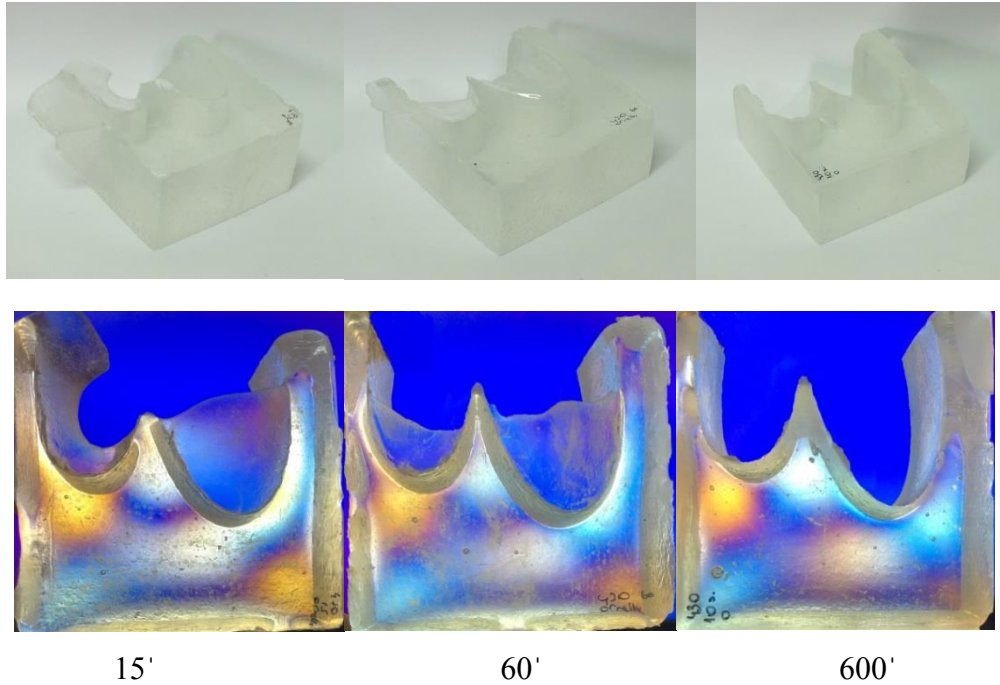
Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.18'deki gibidir. 1 cm et kalınlığındaki camlarda gerilim bulunmaktadır. Camların kıvrım ve uç kısımlarında gerilimin daha çok olduğu gözlenmektedir. Camların ince kısımlarında kırılmalar meydana gelmiştir. Bu parametrelerin tavlama için uygun olmadığı görülmüştür.



Görsel 4.18. 1 cm et kalınlığındaki Ornella renksiz şeffaf camının 430°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.2.2. 3 cm'lik ornella renksiz şeffaf camının 430°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

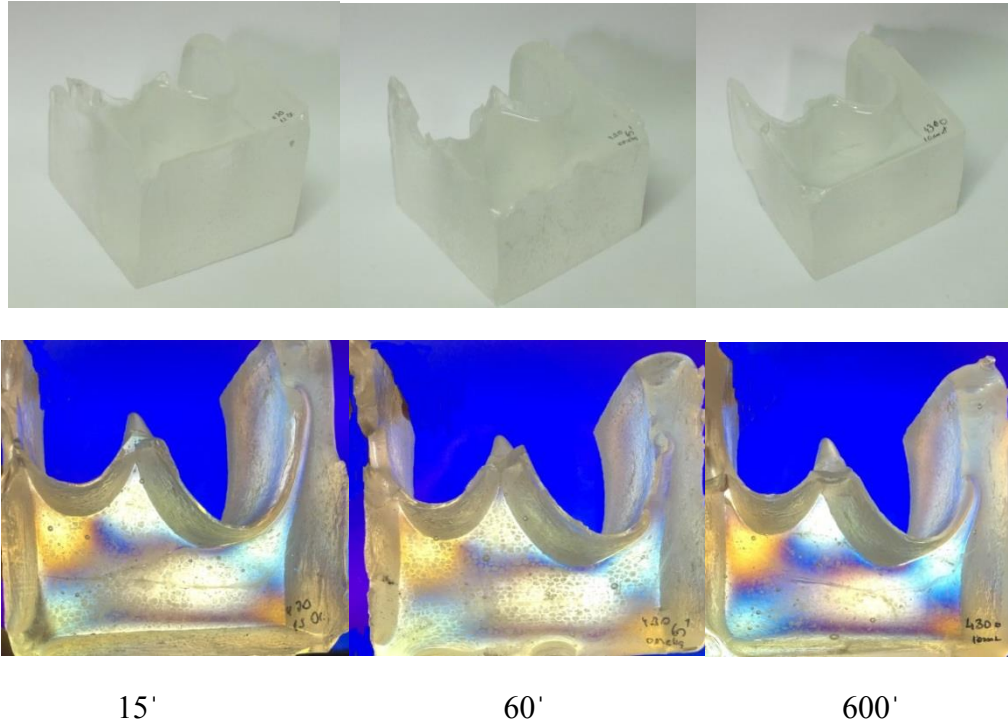
Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.19'daki gibidir. 3 cm et kalınlığındaki camlarda, gerilim bulunmaktadır. Gerilimin, mavi ve sarı bölgelerin çok fazla parlak olmasından gerilimin şiddetini daha iyi gözlenmektedir. Gerilim genellikle uç ve orta kısımlarda olduğu gözlenmiştir. Renklerin 15' olan cam ile 60' olan camlara bakıldığında sarı ve parlak beyazın çok fazla olduğunu ama diğer 600' olan camda ise sarıların ve parlaklığın azaldığı gözlenmiştir. Bu parametrelerin tavlama için uygun olmadığı görülmüştür



Görsel 4.19. 3 cm et kalınlığındaki Ornella renksiz şeffaf camının 430°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.2.3. 5 cm'lik ornella renksiz şeffaf camının 430°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

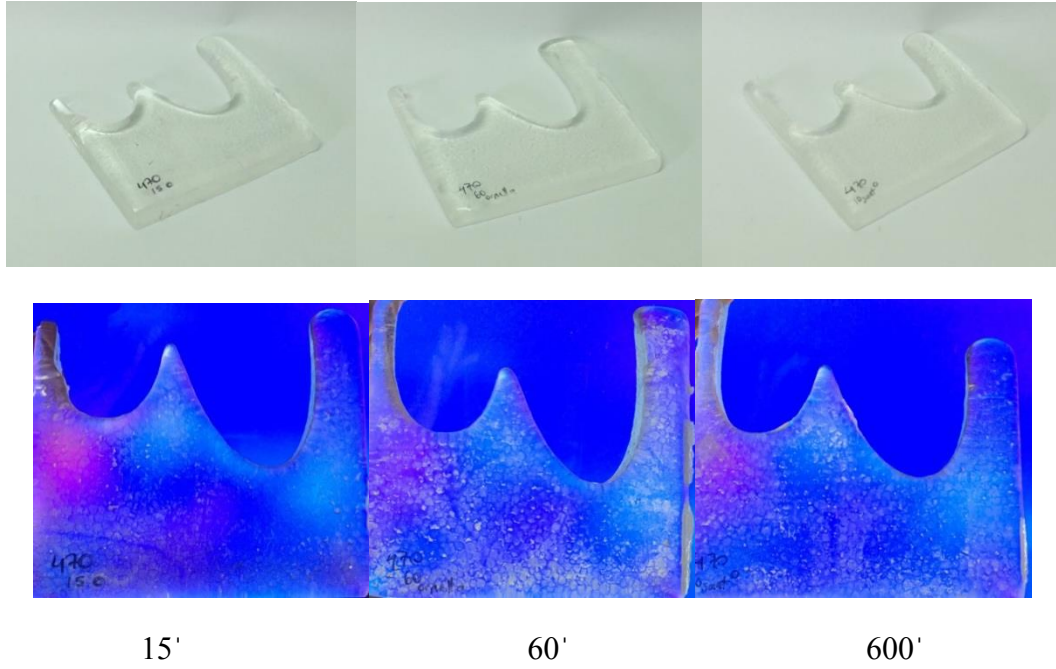
Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.20'deki gibidir. 5 cm et kalınlığındaki camlarda gerilim gözlenmektedir. 15' olan camda parlaklığın orta kısımda çok fazla olduğu sarı rengin ince kısımda ve alt kısımda olduğu gözlenmiştir. 60', 600' göre daha açık bir renkte olması, sürenin artırılmasına rağmen içerisinde gerilim bulunmaktadır. Bu parametre tavlama için uygun değildir.



Görsel 4.20. 5 cm et kalınlığındaki Ornella renksiz şeffaf camının 430°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.2.4. 1 cm 'lik ornella renksiz şeffaf camının 470°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.21'deki gibidir. Sadece 470 ° 15' olan camda mor rengin yoğunluğun ve açık mavi tonlarının olmasından kaynaklı camda az miktarda gerilim gözlenmiştir. Bu parametrelerde ise rengin yoğunluğunun azalmasından kaynaklı 60' ve 600' tavlama için uygun görülmüştür.

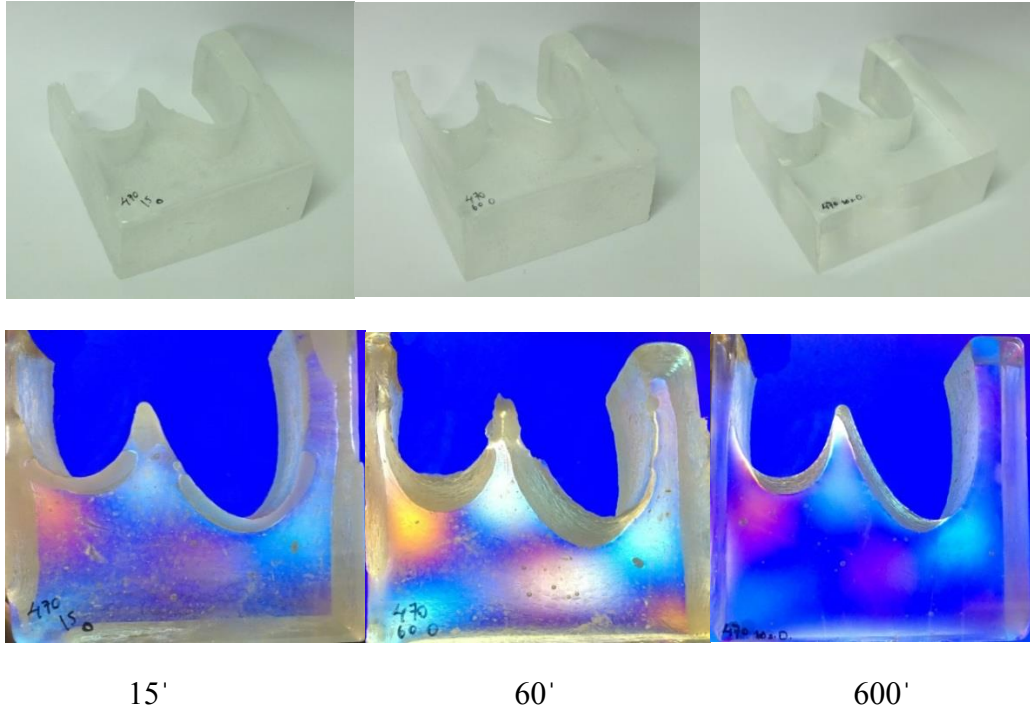


Görsel 4.21. 1 cm et kalınlığındaki Ornella renksiz şeffaf camının 470°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri

(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.2.5. 3 cm'lik ornella renksiz şeffaf camının 470°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

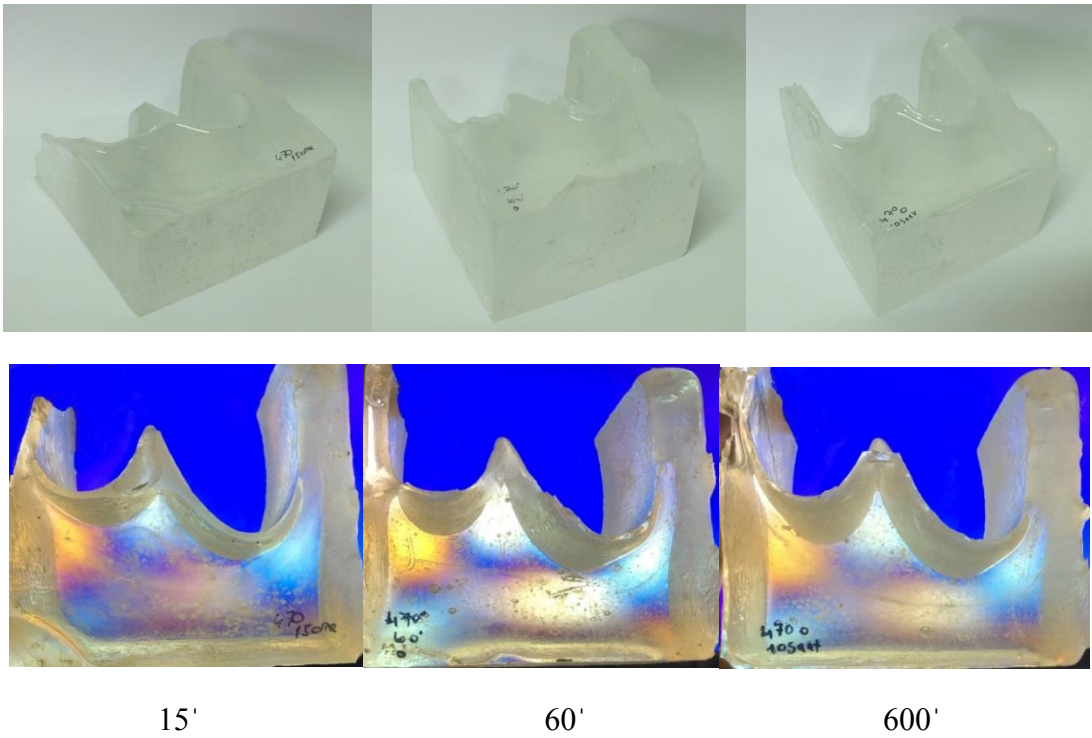
Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.22'deki gibi gösterilmektedir. 15' olan camda mavi ve mor rengin yoğun olması, sürenin uzamasına rağmen 60' olan camda orta kısımda parlaklığın olması uç kısımlarda ise sarı rengin arttığı gözlenmiştir. Gerilim 600' olan camda gerilim azalmıştır. Bu parametrelerin tavlama için uygun olmadığı görülmüştür.



Görsel 4.22. 3 cm et kalınlığındaki Ornella renksiz şeffaf camının 470°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.2.6. 5 cm 'lik ornella renksiz şeffaf camının 470°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

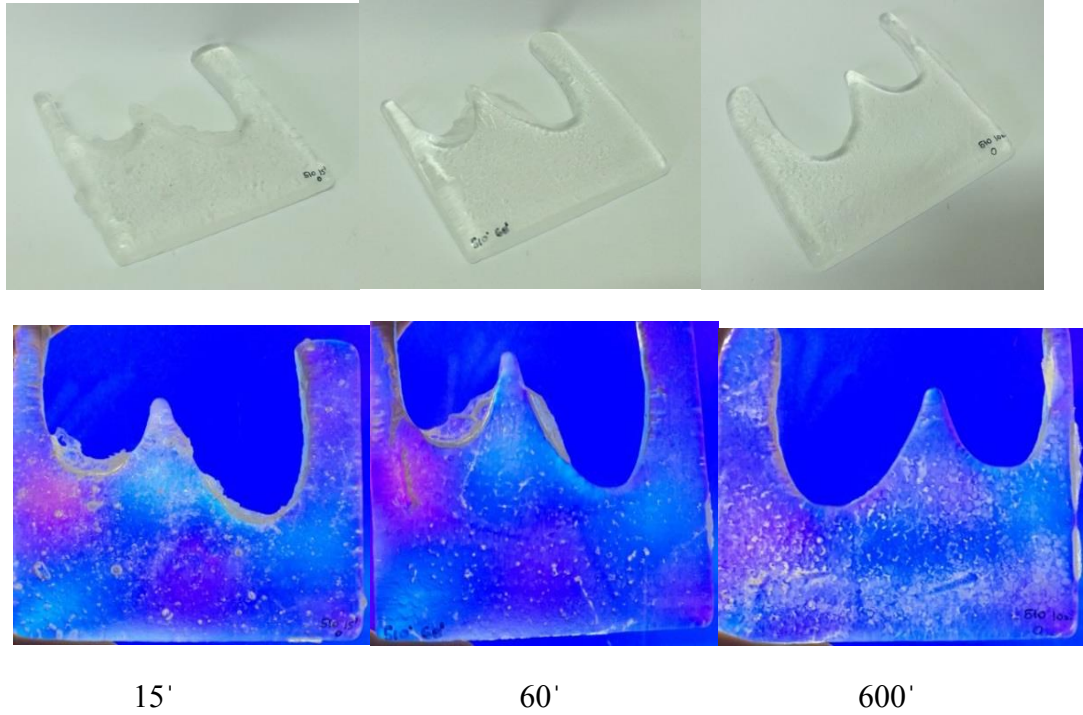
Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.23'deki gibidir. 5 cm olan camlarda 15' ve 60' olan camlarda gerilimin uç kısımlarda sarı rengi olduğu kalınlığın artması ile birlikte parlaklığın olması gerilim hala orta kısımda ve uç kısımda fazla olduğu gözlenmiştir. 600' olan camda sürenin uzamasına rağmen gerilimin sadece azaldığı gözlenmektedir. Bu parametrelerin tavlama için uygun olmadığı görülmüştür



Görsel 4.23. 5 cm et kalınlığındaki Ornella renksiz şeffaf camının 470°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.2.7. 1 cm 'lik ornella renksiz şeffaf camının 510°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

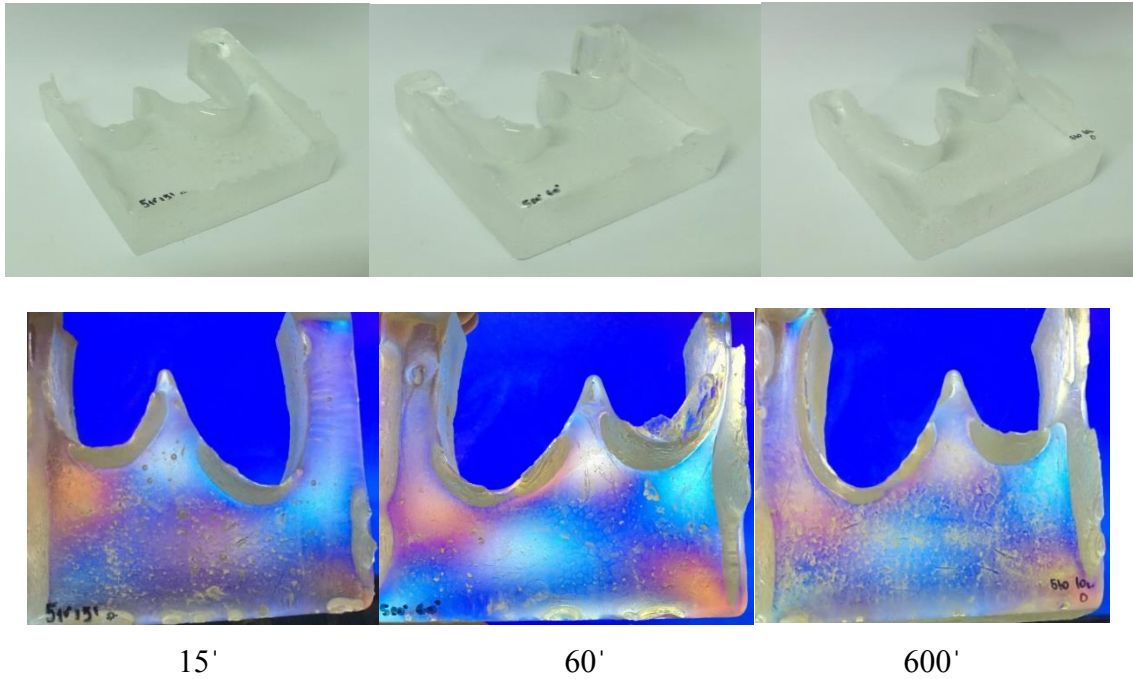
Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.24 deki gibidir. 1 cm et kalınlığındaki camlarda gerilim bulunmamaktadır. Mor ve mavi renklerin daha açık tonlarda olması camda kırılmayı etki edecek derecede değildir. Bu parametrelerin tavlama için uygun olduğu görülmüştür.



Görsel 4.24. 1 cm et kalınlığındaki Ornella renksiz şeffaf camının 510°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.2.8. 3 cm'lik ornella renksiz şeffaf camının 510°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

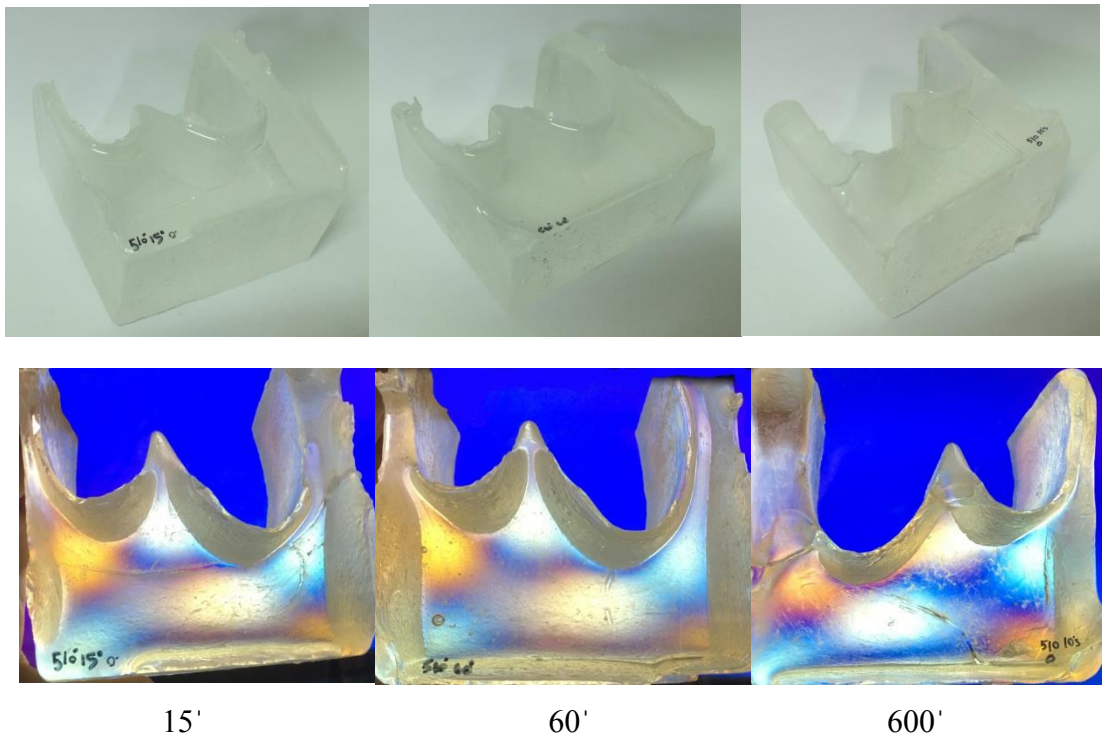
Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.25'deki gibidir. Derecenin arttırılmasına rağmen 3 cm et kalınlığındaki camlarda 15' ve 60' olan camlarda gerilim bulunmaktadır. Sarı kısımların uç kısımlarda az miktarda olduğu, parlaklığın çok aza indirildiği gözlemiştir. 600' olan camda sürenin uzaması ile içerisindeki sarı ve parlaklıklar giderilmiş çok az miktarda koyu mavi renk gözlenmiştir. Camın kırılmasını etki edecek büyüklükte bir gerilim bulunmamaktadır. Bu parametrelerin tavlama için uygun olduğu görülmüştür.



Görsel 4.25. 3 cm et kalınlığındaki Ornella renksiz şeffaf camının 510°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.2.9. 5 cm 'lik ornella renksiz şeffaf camının 510°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.26' da gösterilmektedir. 510°C'de 15', 60' ve 600' tavlama işlemi uygulanan camlarda içerisinde bulunan sarı, mor, koyu mavi ve parlaklığın yoğun olmasından kaynaklı gerilimin olduğu gözlenmiştir. 600' tavlama süresinin daha uzun olmasına rağmen camın kalınlığından kaynaklı içerisinde hala gerilimin olduğu gözlenmiştir. Bu parametrelerin tavlama için uygun olmadığı görülmüştür.

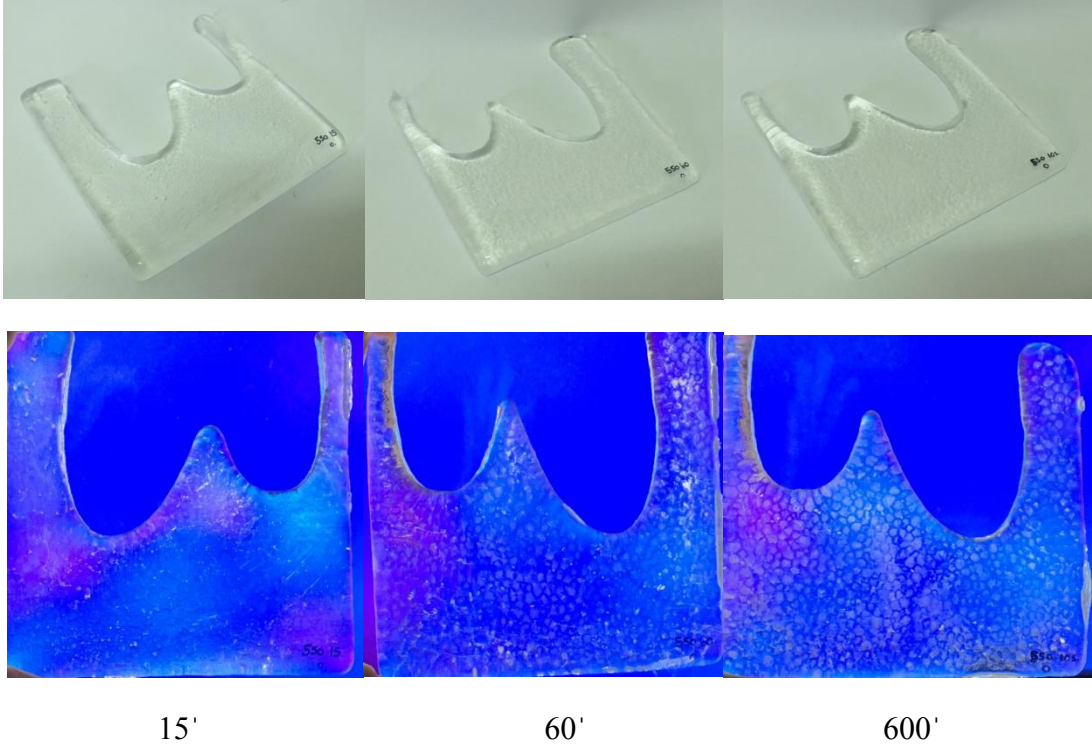


Görsel 4.26. 5 cm et kalınlığındaki Ornella renksiz şeffaf camının 510°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri

(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.2.10. 1 cm 'lik ornella renksiz şeffaf camının 550°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.27' da gösterilmektedir. 1 cm et kalınlığındaki camlarda mor ve mavi tonlarının en aza indirilmesi ile camın içerisinde gerilim bulunmamaktadır. Bu parametrelerin tavlama için uygun olduğu görülmüştür.

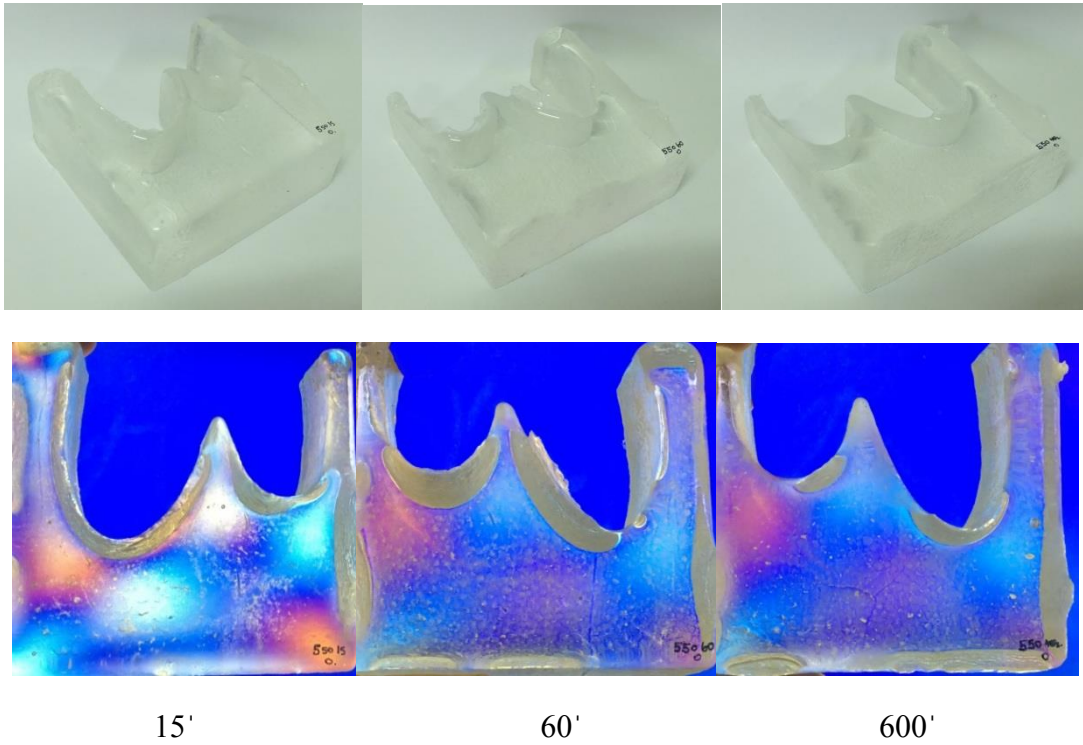


Görsel 4.27. 1 cm et kalınlığındaki Ornella renksiz şeffaf camının 550°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri

(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.2.11. 3 cm 'lik ornella renksiz şeffaf camının 550°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.28' de gösterilmektedir. Derecenin yükselmesine rağmen 15' olan 3 cm et kalınlığındaki camda mor, sarı, açık mavi ve parlak rengin olmasından dolayı camın içerisinde hala gerilim gözlenmektedir. 60' olan camda ince kısımda bulunan mor ve açık mavi olan kısımlar camda kırılmaya etki edecek şekilde değildir. 600' olan camlarda gerilimin olmadığı gözlenmiştir, bu parametrenin tavlama için uygun olduğu görülmüştür.

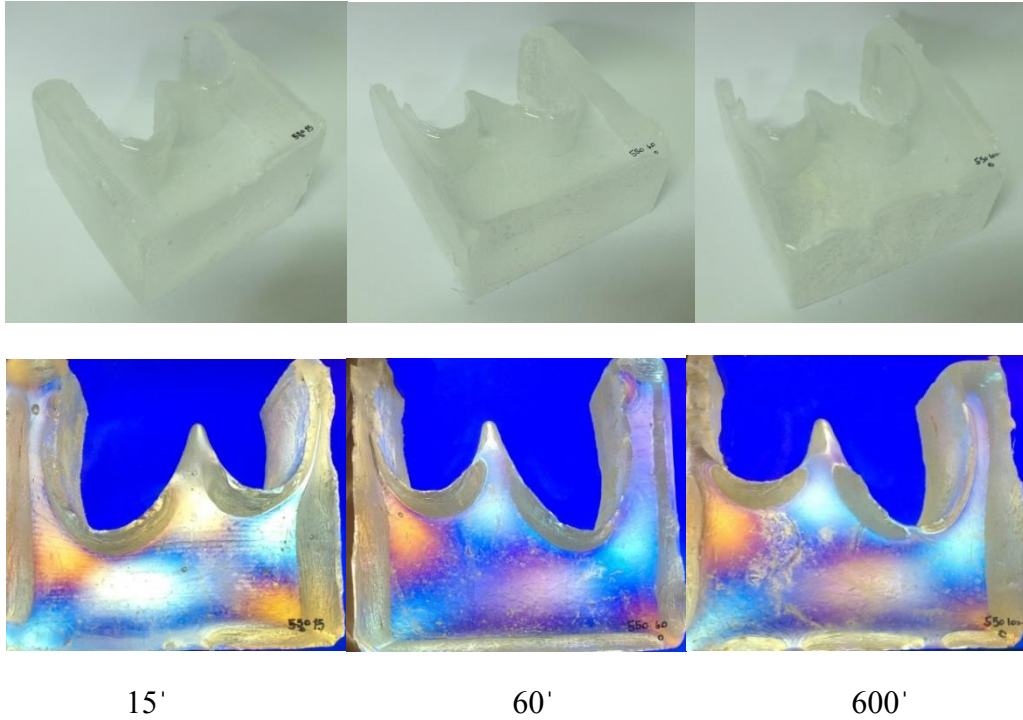


Görsel 4.28. 3 cm et kalınlığındaki Ornella renksiz şeffaf camının 550°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri

(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.2.12. 5 cm 'lik ornella renksiz şeffaf camının 550°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

Camların alçı kalıptan çıkarılmış hali ve polariskop görüntüleri görsel 4.29'da gösterilmektedir. 15' 5cm et kalınlığındaki camda tavlama sıcaklığının artmasına rağmen içerisinde hala sarı, mor renklerin ve parlaklığın olduğunu içerisinde hala gerilimin bulunduğu gözlenmiştir. 60' olan camlarda gerilim en aza indirilmiştir. Kalınlığın artmasından kaynaklı içerisinde az miktarda gerilim olmasına rağmen camın kırılmasına etki edecek bir büyüklükte bir gerilim değildir. 600' olan camda ise renklerin yoğunluğunun azalmasından gerilimin en aza indirildiği gözlenmiştir. Bu parametrenin tavlama için uygun olduğu görülmüştür.



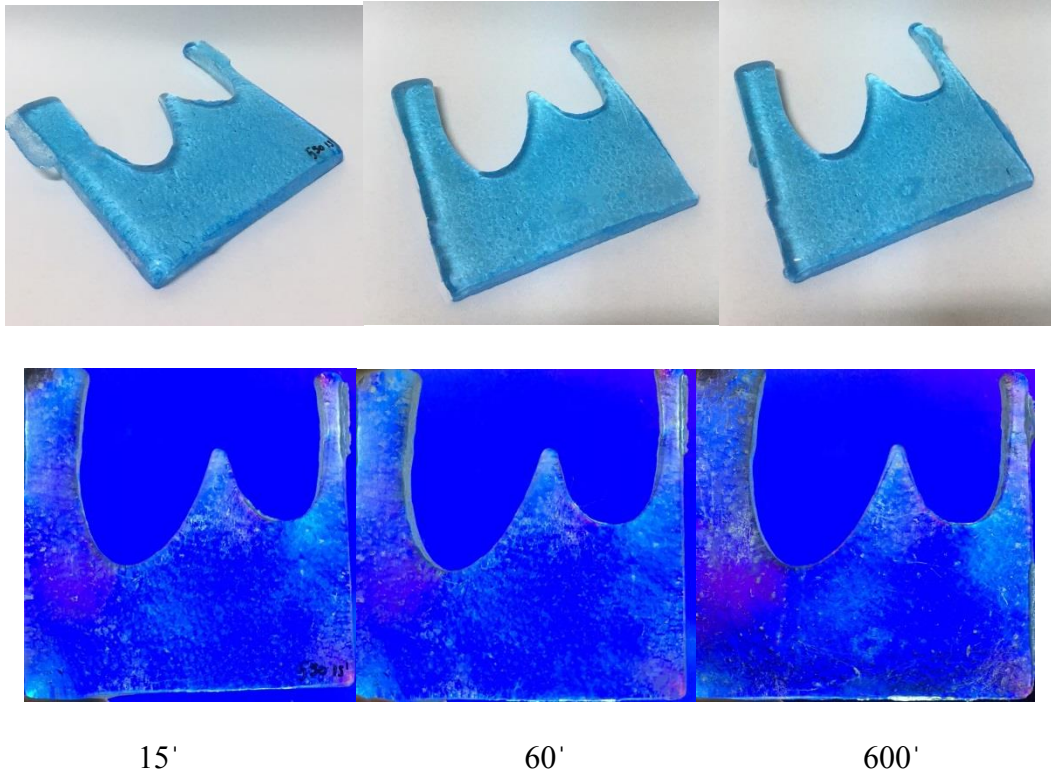
Görsel 4.29. 5 cm et kalınlığındaki Ornella renksiz şeffaf camının 550°C 15',60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkmış hali ve polariskop görüntüleri

(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.3. Ornella mavi şeffaf

4.2.3.1. 1 cm'lik ornella mavi şeffaf camının 550°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

1 cm et kalınlığındaki mavi Ornella camlarının 550 °C'de 15', 60' ve 600' tavlama sonrası polariskop görüntüleri incelendiğinde açık mavi ve mor bölgelere rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu camların tavlama sıcaklık ve sürelerinin uygun olduğu belirlenmiştir (Görsel 4.30).

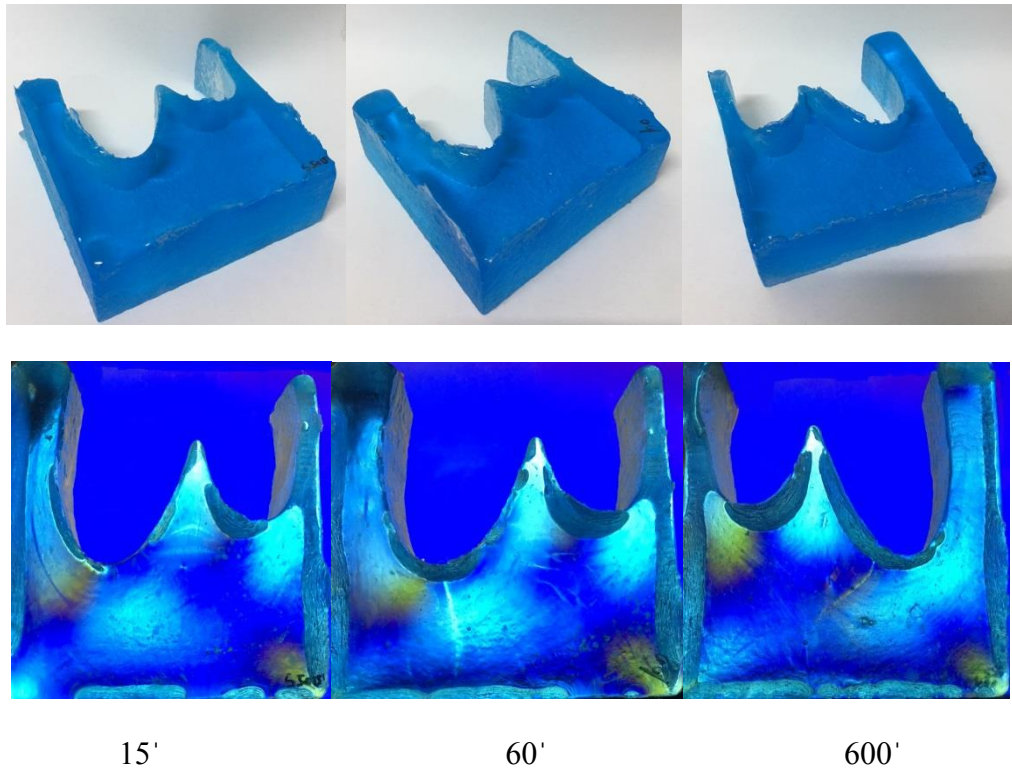


Görsel 4.30. 1 cm et kalınlığındaki Ornella mavi şeffaf camlarının 550 °C'de 15', 60' ve 600' tavlama sonrası alçı kalıptan çıkartılmış hallerini ve polariskop görüntüleri

(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.3.2. 3 cm'lik ornella mavi şeffaf camının 550°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

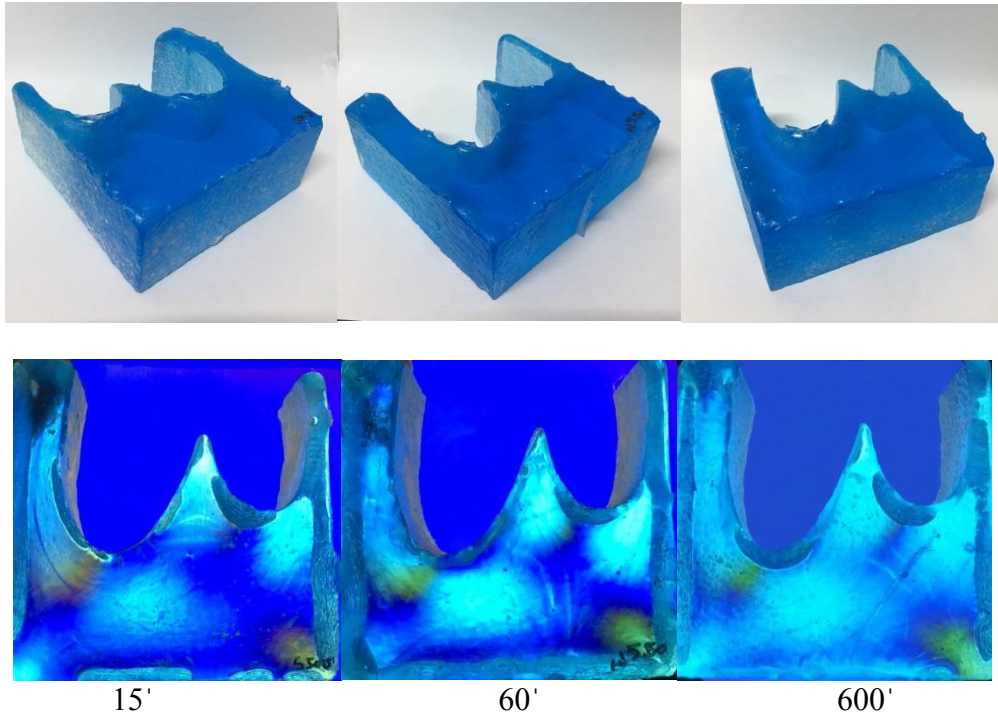
3 cm et kalınlığındaki Ornella camlarında 550 °C'de 15, 60 ve 600 dakika tavllanmış camlar polariskop ile incelendiğinde bazı renkli bölgeler ve açık mavi kısımlar görülmektedir(Görsel 4.31). 60' tavlama yapılan 3 cm'lik cam içerisinde ince kılcal çizgi halinde bölge bulunmaktadır. Tavlama süresi arttıkça açık mavi bölgeler artmış mor renkli bölgeler azalmıştır dolayısıyla süre arttıkça gerilimin daha da azaldığı söylenebilmektedir.



Görsel 4.31. 3 cm kalınlığındaki Ornella mavi şeffaf camlarının 550°C'de 15,60 ve 600 dakika tavlama işlemi uygulanmış hallerini görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.3.3. 5 cm'lik ornella mavi şeffaf camının 550°C'de 15', 60' ve 600' tavlama denemeleri

5 cm et kalınlığındaki camlarda sarı ve mor bölgelerin özellikle 550 °C 600 dakika tavlama sonucunda en aza indirildiği görülmektedir. Dolayısıyla 5 cm et kalınlığındaki mavi Ornella camı için en uygun tavlama sıcaklığı 550 °C ve tavlama süresi 600' olarak tespit edilmiştir. Camda bulunan sarı mor halkaların en aza indirilmesi için tekrar fırınlama işlemi uygulanmıştır. İçerisinde sarı tonlarının bulunmasına rağmen camın kırılmasını etki edecek büyüklükte bir gerilim değildir. Bu parametre camın tavlanması için geçerlidir.

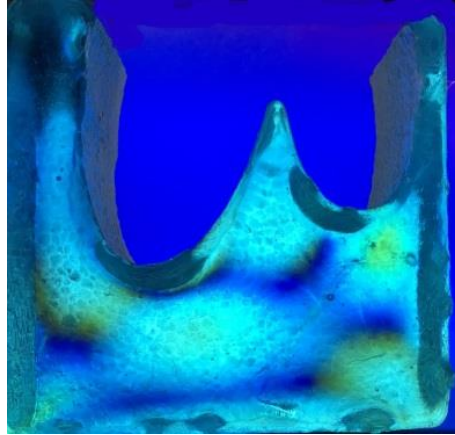


Görsel 4.32. 5 cm kalınlığındaki Ornella mavi şeffaf camlarının 550°C'de 15,60 ve 600 dakika tavlama işlemi uygulanmış hallerinin ve polariskop görüntüleri

(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

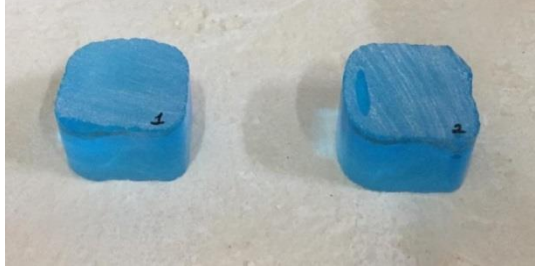
Tablo 4.10. 5 cm'lik mavi renk cam için uygulanan fırın diagramı

Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)
200'	600°	30'
skip	550°	120'
420'	425°	15'
150'	375°	15'
180'	275°	15'
240'	30°	15'
0		



Görsel 4.33. 5 cm kalınlığındaki Ornella mavi camının 550°C'de 600 dakika tavlama işlemi uygulandıktan sonra tekrar ısıtma işlemi uygulanarak 550°C'de 120 dakika tavlandıktan sonraki polariskop görüntüsü
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.3.4. Küçük boyutlu ornella mavi cam denemelerinin sonuçları



Görsel 4.34 2 cm'lik camların tavlama işlemi öncesi görüntüleri
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

Saydam camlar için uygun olan polariskop ile renkli camların içerisinde bulunan gerilimlerinin belirlenmesi, tavlamanın başarılı biçimde yapılıp yapılmadığını tespit etmek biraz karmaşık olsa da eldeki veriler kullanılarak renkli camların tavlama süreci ile ilgili yorumlamalar yapılmıştır. Bu küçük boyutlardaki ornella mavi camlarının deneylerinin yapılmasının amacı küçük boyutlardaki camların içerisinde gerilimleri gözlemek ve farklı tavlama sürelerinde içerisinde bulunan gerilimlerin giderilmesidir.

2 cm et kalınlığındaki mavi renkli Ornella camlarının tavlama sürelerini bulmak için 550 °C'de 0'-120'-240'-480' sürelerinde her sürede iki adet camın tavlama işlemi Tablo 4.11 ve 4.12' deki fırın diyagramlarına göre gerçekleştirilmiştir. (Görsel 4.34)

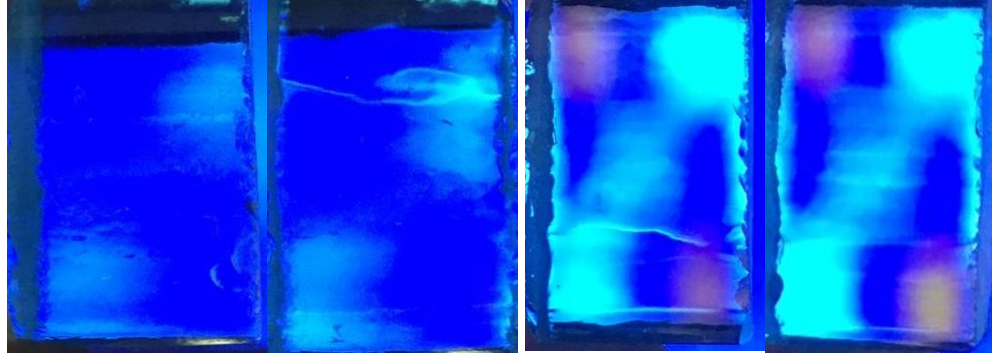
Tablo 4.11. 2 cm et kalınlığındaki mavi renkli Ornella camlarının tavlama sürelerini bulmak için 550 °C’de 0', 120' tavlama işlemi için uygulanan fırın diyagramları

Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak)
200'	600°	30'	200'	600°	30'
20'	550°	0'	20'	550°	120'
40'	425°	10'	40'	425°	10'
60'	375°	10'	60'	375°	10'
60'	275°	10'	60'	275°	10'
120'	30°	0	120'	30°	0
0			0		

Tablo 4.12 2 cm et kalınlığındaki mavi renkli Ornella camlarının tavlama sürelerini bulmak için 550 °C’de 240', 480' tavlama işlemi için uygulanan fırın diyagramları

Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)	Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak)
200'	600°	30'	200'	600°	30'
20'	550°	240'	20'	550°	480'
40'	425°	10'	40'	425°	10'
60'	375°	10'	60'	375°	10'
60'	275°	10'	60'	275°	10'
120'	30°	0	120'	30°	0
0			0		

Cam numunelerin ilk aşamada 550 °C’de hiç bekleme yapılmadan tavlama işlemi gerçekleştirilmiştir, polariskop incelemesi sonuçları görsel 4.35’de görülmektedir. Tavlammamış camlarda çok az gerilim görülürken tavlammış camlarda açık mavi, mor ve sarı bölgelerin arttığı belirlenmiştir. Sonuçlara göre tavlama işlemi için sadece 550 °C’ye çıkılmasının yeterli olmadığı düşünülmektedir.



1

2

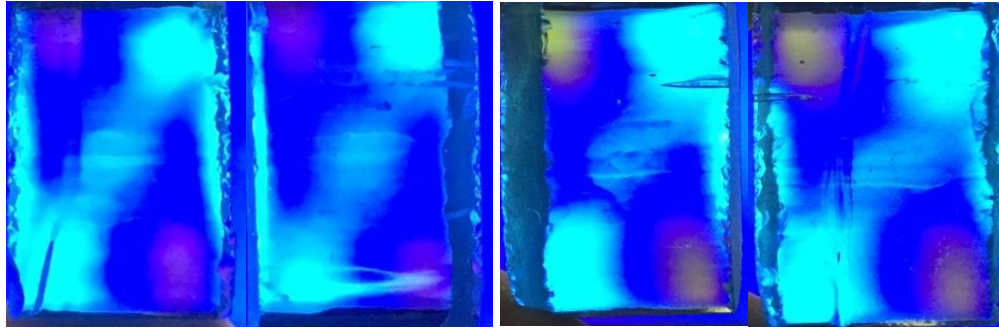
1a

2a

Görsel 4.35 550 °C'de 0' tavlama işlemi uygulama öncesi görüntüleri (1 ve 2), 550 °C'de 0' tavlama işlemi uygulama sonrası görüntüleri (1a ve 2a).

(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

İkinci aşamada cam numunelerin olarak 550 °C'de 120' tavlama işlemi gerçekleştirilmiştir, polariskop incelemesi sonuçları görsel 4.36'de görülmektedir. Tavlammamış camlarda açık mavi ve mor bölgeler görülürken tavlammış camlarda açık mavi, mor ve sarı bölgelerin arttığı belirlenmiştir. Sonuçlara göre tavlama işlemi için 550 °C'de 120' tavlamanın yeterli olmadığı düşünülmektedir.



3

4

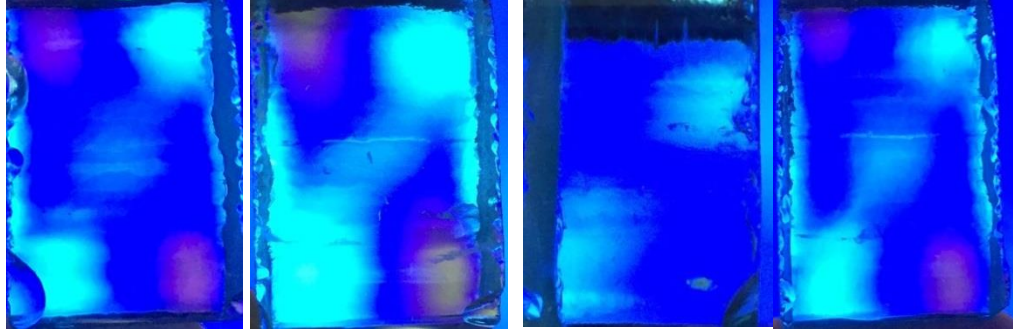
3a

4a

Görsel 4.36 550 °C'de 120' tavlama işlemi uygulama öncesi görüntüleri (3 ve 4), 550 °C'de 120' tavlama işlemi uygulama sonrası görüntüleri (3a ve 4a).

(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

Üçüncü aşamada cam numunelerin olarak 550 °C'de 240' tavlama işlemi gerçekleştirilmiştir, polariskop incelemesi sonuçları görsel 4.37'de görülmektedir. Tavlammamış camlarda açık mavi, mor ve sarı bölgeler görülürken tavlammış camlarda sarı bölgelerin olmadığı açık mavi, mor bölgelerin azaldığı belirlenmiştir. Sonuçlara göre tavlama işlemi için 550 °C'de 240' tavlamanın verimli olduğu düşünülmektedir.



5

6

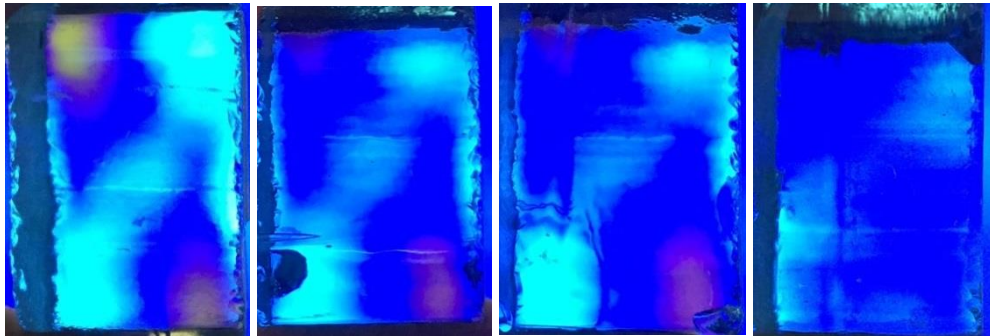
5a

6a

Görsel 4.37. 550 °C'de 240' tavlama işlemi uygulama öncesi görüntüleri (5 ve 6), 550 °C'de 240' tavlama işlemi uygulama sonrası görüntüleri (3a ve 4a).

(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

Dördüncü aşamada cam numunelerin olarak 550 °C'de 480' tavlama işlemi gerçekleştirilmiştir, polariskop incelemesi sonuçları görsel 4.38'de görülmektedir. Tavlanmamış camlarda açık mavi, mor ve sarı bölgeler görülürken tavlanmış camlarda sarı bölgelerin olmadığı açık mavi, mor bölgelerin azaldığı ve tamamen giderildiği belirlenmiştir. Sonuçlara göre tavlama işlemi için 550 °C'de 480' tavlamanın için daha verimli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca 240' tavlanmış numunelerdeki sarı bölgelerden daha az sarı ve açık mavi bölge olması nedeniyle polariskop ile mavi renkli camların tavlama çalışması için açık mavi ve sarı renkli bölgelere dikkat edilmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır.



7

8

7a

8a

Görsel 4.38. 550 °C'de 480' tavlama işlemi uygulama öncesi görüntüleri (7 ve 8), 550 °C'de 480' tavlama işlemi uygulama sonrası görüntüleri (7a ve 8a).

(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

4.2.3.5. Alternatif cam tavlama sıcaklığı bulma çalışması (Çubuk yöntemi)

Tavlama sıcaklığı bilinmiyorsa ve polariskop gibi tavlama denemeleri sonucunda gerilim seviyesini tespit edecek bir cihaz yok ise cam çubuk yöntemi ile tavlama sıcaklığı bulunabilmektedir. Bu işlem için seramik çamuru ile yapılan 30 cm uzunluğunda 1 cm et kalınlığındaki camı oluşturacak modeller hazırlanır ve % 50 alçı % 50 kuvars'tan oluşan alçı kalıp malzemesi ile kalıbı oluşturulur. Alçının içerisine camlar konularak fırında ergitme işlemi gerçekleştirilir. Bu tez çalışmasında Glasma 705, Ornella şeffaf ve Ornella mavi renkli camları kullanılarak ergitme işlemi yapılmıştır (Görsel 4.39). Tavlama sıcaklıkları bu alternatif yöntem ile de belirlenmiştir. Ergitme işlemi aşağıdaki tabloda gösterilen fırın diyagramına göre yapılmıştır (Tablo 4.13).



Görsel 4.39. Cam çubuk yönteminde kullanılacak camların fırınlanma öncesi kalıp içerisindeki görüntüleri

(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

Tablo 4.13. Camların alçı içerisinde çubuk şeklinde hazırlanması ve kullanılan fırın diyagramı

Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)
360	590	60
Skip	850	300
Skip	550	60
420	425	15
150	375	15
180	275	15
240	30	15
0		

Ergitilme işlemi yapıldıktan sonra, Glasma 705, Ornella şeffaf, Ornella mavi camları 1 cm et kalınlığında 30 cm uzunluğundaki camlar 45° açı ile fırın içerisine yerleştirilmiştir. Cam çubuklar 550°C tavlama sıcaklığında 1 saat bekletilmiştir ve yapılan gözlemde şeffaf camlarda eğilme olmadığı mavi camda eğilme olduğu görülmüştür. Daha sonrada 3 saat bekletilerek camlar gözlemlenmiştir ve yapılan gözlemde şeffaf camlarda eğilme olduğu mavi camda eğilme daha çok olduğu görülmüştür(Görsel 4.40). Bir camın tavlama sıcaklığı çubuk yönteminde o camın 1 saat boyunca bekletildiği sıcaklıkta eğilmediği 4 saat bu sıcaklıkta bekletildiğinde eğildiği sıcaklıktır. Dolayısıyla şeffaf camlar için 550 °C tavlama sıcaklığı olduğu mavi cam içinse daha düşük sıcaklıkta aynı denemenin yapılması gerektiği belirlenmiştir.

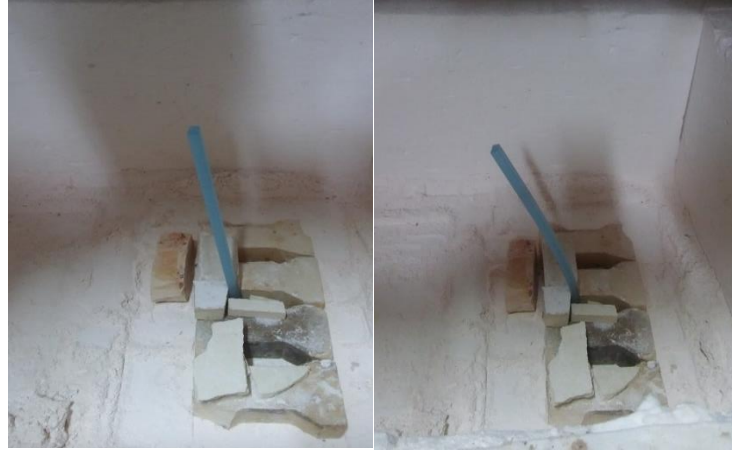
Tablo 4.14. *İnce cam çubukların tavlama sıcaklığı bulunması için uygulanan tavlama diyagramı*

Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)
180	550	240
60	450	10
120	200	10
120	30	0
0		



Görsel 4.40. *İnce cam çubuklara tavlama sıcaklıkları için ısı işlem uygulanıyor
(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)*

Mavi renkli Ornella camı için 510 °C’de yapılan çubuk tavlama sıcaklığı belirleme denemisinde beklendiği gibi 1 saat 510 °C’de bekletilen mavi camda eğilme olmadığı ardından 3 saat daha bekletildiğinde camda hafif eğilme olduğu gözlenmiştir(Görsel 4.41). Dolayısıyla tavlama sıcaklığı 510 °C olarak belirlenmiştir. Ancak alçı kalıp içerisinde cam şekillendirildiğinde tavlama sıcaklığının 40 °C daha üzerinde tavlandığında camdaki gerilimlerin daha verimli biçimde giderilmesi hedeflenerek mavi renkli Ornella camları için tavlama sıcaklığı alçı kalıp şekillendirme yöntemi için 550 °C olarak uygulanması düşünülmüştür.



Görsel 4.41. *Mavi Camların denemesi*
(*Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi*)

Tablo 4.15. *İnce mavi cam çubukların tavlama sıcaklığı bulunması için uygulanan tavlama diyagramı*

Süre (Dak.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Dak.)
180	510	240
60	450	10
120	200	10
120	30	0
0		

4.3 Deneylerin Sonuçları

Polariskop değerlendirmesinde sarı bölgelerin az olması ya da hiç olmaması istenen bir durumdur. Sarı bölgelerin olması demek camda tolere edilebilir düşük gerilimin olduğunu göstermektedir. Saydam camların polariskop görüntüsünde özellikle kırmızı bölgelerin olması yüksek gerilimi göstermektedir. Mavi bölgeler ise kırmızı bölgeler gibi polariskop görüntüsünde sarı bölgelere göre daha yüksek gerilim varlığına işaret etmektedir.

Bu bilgiler ışığında Glasma 705 camının 470°C’de 15', 60', 600' tavlama süresi ve tavlama sıcaklığından başlanarak daha yüksek sıcaklıkta tavlama ile camlardaki gerilimlerin azaltıldığı gözlenmektedir.

1 cm kalınlığındaki cama 510°C’de 15 dakika tavlama işlemi uygulandığında, et kalınlığının düşük olmasına rağmen, gerilim görülmesi daha kalın camlarda daha fazla gerilim olması öngörüsünü yapmamızı sağlamaktadır. 1 cm ve 3 cm kalınlığındaki camlar için 510°C’de 600 dakika ısıtma işlemin gerilimi gidermede başarılı olduğu 5 cm kalınlığındaki camlar içinse gerilimin yeteri kadar giderildiği ancak yine de bir miktar gerilimin kaldığı belirlenmiştir. Cam kütlenin kalın olup zor soğuması 3 cm kalınlığındaki cam işe göre daha az gerilimin olmasına neden olduğu düşünülmektedir. Ancak yine de camın kırılmasına neden olacak büyüklükte gerilimin olmadığı belirlenmiştir. Beklendiği gibi et kalınlığı arttıkça tavlama sonrası camda kalan gerilim artmaktadır. Glasma 705 camları için 550°C’de 600 dakika tavlama işlemi ile gerilimin giderilmesi sağlanmıştır.

Sarı bölgenin daha az olması cam kütlenin büyük ve ısı iletkenliğinin düşük olup bu nedenle yüksek sıcaklıktan oda sıcaklığına düşülürken soğumanın yavaş olması ve dolayısıyla tavlama sıcaklığı bölgesinde daha uzun süre kalınmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Ornella camlarında; 1 cm, 3 cm ve 5 cm et kalınlığındaki camlar için 430°C’de 15', 60' ve 600' süre boyunca tavlamanın gerilim gidermek için yeterli olmadığı gözlenmiştir. 470 °C’de 15' tavlama süresi olan 1 cm kalınlığındaki camda az miktarda gerilim olduğu görülmüştür. 1 cm kalınlığındaki camın 470 °C’de 60' ve 600'boyunca tavlama ile gerilimin giderildiği tespit edilmiştir. 470 °C’de 600' tavlama süresinin 3 cm’lik camlarda gerilimin en aza düşmesini sağladığı 5 cm’lik camlarda hala gerilimin olduğu gözlenmiştir.

510°C’de 15',60' ve 600' tavlama süresi sonunda 1 cm’lik camlarda gerilimin olmadığı, 3 cm’lik camlarda ise 600' olan tavlama süresinin camda tavlama süresinin uzaması ile içerisindeki sarı ve parlaklıklar giderilmiş çok az miktarda koyu mavi renk olduğu yani gerilimin azaldığı gözlenmiştir. 5 cm’lik camlarda hala gerilim kaldığı belirlenmiştir.

Beklendiği gibi tavlama işlemi sonucunda tavlama süresi arttıkça camda kalan gerilimin arttığı polariskop görüntüleri ile belirlenmiştir fakat 550°C’de

600 dakika tavlama işeminin gerilimin giderilmesi konusunda tüm kalınlıklar için yeterli olduğu görülmektedir.

Ornella mavi renkli camlarda ise; 1 cm kalınlığındaki camlar için 550°C'de 15', 60' ve 600' süre boyunca yapılan tavlamaların hepsinde camda gerilimin başarılı bir biçimde giderildiği polariskop görüntüleri belirlenmiştir. 3 cm kalınlığındaki camlarda tavlama süresinin uzatılmasıyla polariskop görüntülerindeki mor renkli bölgelerin azalması ve açık mavi bölgelerin artması gerilimin azaldığını göstermektedir. 5 cm kalınlığındaki camlarda tavlama süresinin uzatılması ile 3 cm kalınlığındaki camların polariskop görüntülerindeki duruma benzer sonuçlar elde edilmiştir. Mor ve mavi renk halkaların olmasından dolayı cam tekrar alçı kalıp kullanılmadan tavlama işlemi yapıldığında gerilimlerin azaldığı görülmüştür. Bu parametrenin cam için uygun olduğu düşünülmektedir. 5 cm kalınlığındaki mavi Ornella camının 550 °C'de 600 dakika tavlama işlemi uygulandıktan sonra tekrar ısıtılarak 550 °C'de 120 dakika tavlandıktan sonraki polariskop görüntüsü ile camların uygun bir şekilde tavlanması ardından uygun olmayan parametrelerde tavlama ile camda giderilmiş olan gerilimlerin tekrar gelebildiği tez çalışmaları sonucunda belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında 5 cm kalınlığındaki Glasma 705 camı için en iyi tavlama sıcaklığının 550 °C ve tavlama süresinin 600 dakika olduğu, 5 cm'lik Ornella şeffaf camı için en iyi tavlama sıcaklığının 550 °C ve tavlama süresinin 600 dakika olduğu ve mavi Ornella Camı için en iyi tavlama sıcaklığının 550 °C ve tavlama süresinin 600 dakika olduğu belirlenmiştir. Alçı kalıp yöntemi ile cam şekillendirilmede tavlama sıcaklıklarının fabrika verilerine göre 40 °C üzerinde tavlama işlemi yapılmasının camdaki gerilimi gidermedeki pozitif etkisi tez kapsamında ortaya çıkartılmıştır.

Elde edilen veriler ışığında büyük cam işlerin alçı kalıp yöntemi ile şekillendirilerek belirlenen parametrelerde tavlama ile gerilimleri optimum düzeyde giderilmiştir. Elde edilen veriler ve kullanılan yöntemlerin cam sanatı ve cam şekillendirmesi konusunda çalışanlar için önemli bir kaynak olduğunu cam alanında önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Tablo 4.16. *Glasma 705 camların deneylerinin tablo şeklinde gösterilmesi*

470°C	15 dak.	60 dak.	600 dak.
Glasma 705 1 cm	×	×	×
Glasma 705 3 cm	×	×	×
Glasma 705 5 cm	×	×	×
510°C	15 dak.	60 dak.	600 dak.
Glasma 705 1 cm	×	✓	✓
Glasma 705 3 cm	×	×	×
Glasma 705 5 cm	×	×	×
550°C	15 dak.	60 dak.	600 dak.
Glasma 705 1 cm	✓	✓	✓
Glasma 705 3 cm	×	✓	✓
Glasma 705 5 cm	×	×	✓

Tablo 4.17. *Ornella renksiz şeffafl camların deneylerinin tablo şeklinde gösterilmesi*

430°C	15 dak.	60 dak.	600 dak.
Ornella renksiz şeffafl 1 cm	×	×	×
Ornella renksiz şeffafl 3 cm	×	×	×
Ornella renksiz şeffafl 5 cm	×	×	×
470°C	15 dak.	60 dak.	600 dak.
Ornella renksiz şeffafl 1 cm	×	✓	✓
Ornella renksiz şeffafl 3 cm	×	×	×
Ornella renksiz şeffafl 5 cm	×	×	×

510°C	15 dak.	60 dak.	600 dak.
Ornella renksiz şeffaf 1 cm	✓	✓	✓
Ornella renksiz şeffaf 3 cm	×	×	✓
Ornella renksiz şeffaf 5 cm	×	×	×
550°C	15 dak.	60 dak.	600 dak.
Ornella renksiz şeffaf 1 cm	✓	✓	✓
Ornella renksiz şeffaf 3 cm	×	✓	✓
Ornella renksiz şeffaf 5 cm	×	✓	✓

Tablo 4.18. *Glasma 705, Ornella renksiz şeffaf ve Ornella mavi şeffaf camların deneylerinin tablo şeklinde gösterilmesi*

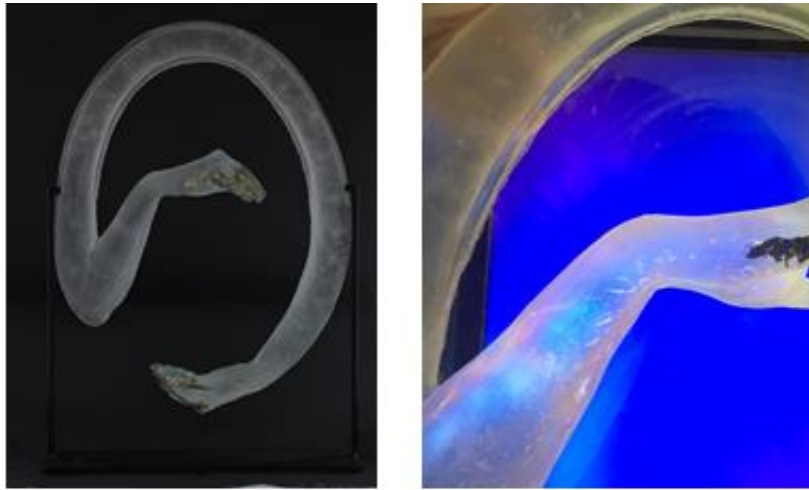
550°C	15 dak.	60 dak.	600 dak.
Ornella mavi şeffaf 1 cm	✓	✓	✓
Ornella mavi şeffaf 3 cm	×	×	✓
Ornella mavi şeffaf 5 cm	×	×	✓

5. KİŞİSEL UYGULAMALAR

Tezin son aşamasında artistik çalışmalar döküm yöntemi ile üretilmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında en kalın kısmı 5 cm olan işlerin tavlama süreci 550°C’de 600 dakika süre boyunca bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bu işlerin bilgileri, görselleri ve tavlama sonrası polariskop görüntüleri bulunmaktadır.

5.1. Anne

Açık kalıp tekniği ile yapılan eser seramik çamuruyla şekillendirilmiştir. Deneylerde kullanılan Ornella renksiz şeffaf camı kullanılmıştır. Eserde “anne” teması işlenmiştir.



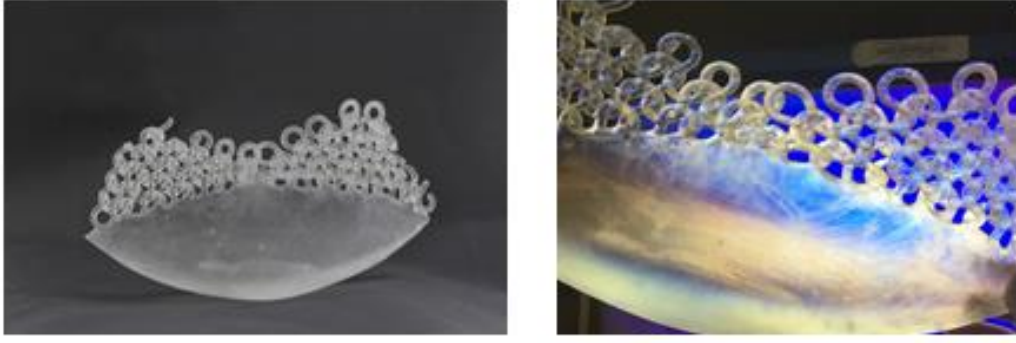
Ornella şeffaf

Görsel 5.1 Ornella renksiz şeffaf camı ile yapılan eserin polariskop görüntüsü

(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

5.2 Göz

Kayıp mum tekniği ile şekillendirilen eserde Glasma 705 camı kullanılmıştır. Göz stilize edilmiştir.



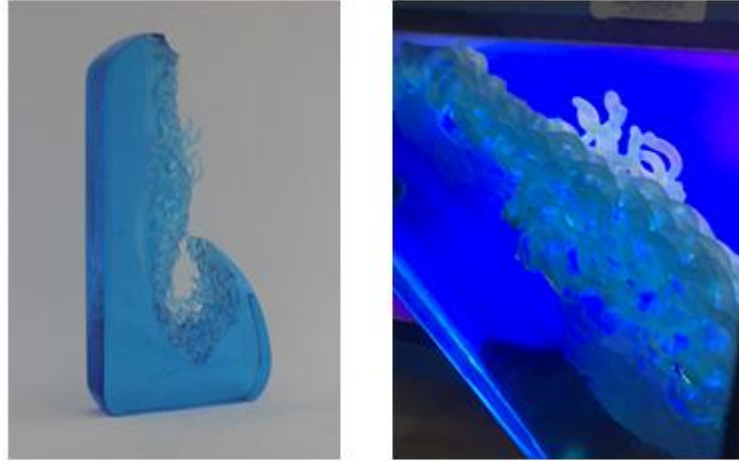
Glasma 705

Görsel 5.2 Glasma 705 camı ile yapılan eserin polariskop görüntüsü

(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

5.3 Çözölmek

Strafor kesim ile örgü mumlarının birleştirilerek şekillendirme işlemi yapılmıştır. Eserde Ornella mavi şeffaf kullanılmıştır. Bütün gibi gözöken parçaların çözölməsi işlemiştir.



Ornella mavi

Görsel 5.3 Ornella mavi şeffaf camı ile yapılan eserin polariskop görüntüsü

(Ecem Yılmaz fotoğraf arşivi)

SONUÇ

Tavlama camın şekil verilmesinin ardından oda sıcaklığına kadar kontrollü bir soğutma işlemidir. Bu işlem sırasında camın içerisinde oluşabilecek gerilimlerin ısıtma işlemi ile yok edilmesidir. Eğer cam ince veya kalın yapılı bir formda ise camın formuna uygun bir şekilde tavlama işleminin uygulanması gerekir. Tavlama uygulanmayan camlar zamanla aldığı darbeden ya da içerisinde bulunan gerilimden kaynaklı zamanla çatlayabilirler. Camın üst tavlama sıcaklığında tavlama işleminin uygulanması sayesinde; camın içerisindeki sıcaklık ile moleküller daha hızlı hareket etmekte ve gerilimler bu sıcaklıkta giderilmektedir. Eğer camın yapısına uygun bir tavlama sıcaklığı yerine düşük bir sıcaklık uygulanır ise gerilimin giderilmesi daha uzun sürecektir. Bunun sebebi düşük sıcaklıkta atomların yavaş hareket etmelerinden kaynaklıdır. Yüksek genleşme kat sayısına sahip camların düşük genleşme sayısına sahip camlara göre daha dikkatli tavlama yapılması gerekir.

Camın içerisindeki gerilimler genellikle camın sıvı halden katı hale geçmesi ya da soğutulması sırasında oluşmaktadır. Camın tüm yüzeyinin aynı sıcaklıkta olması gerekmektedir. İç kısmın sıcak olması dış yüzeyinin soğuk olması ile büzülme yani gerilim oluşur. Sıcaklık farklılığı ortadan kalktığı anda kaybolan gerilimlere geçici gerilim, sıcaklık farklılığı ortadan kalktığı halde devam eden gerilimlere kalıcı gerilim denir.

Camın tavlama işlemine etki eden faktörler arasında camın kalınlığı, camın kompozisyonu, camın termal genleşme kat sayısı, camın şekillendirme tekniği ve camın şekli bulunmaktadır. Camın kalınlığı camın ne kadar sürede tavlama işleminin uygulanması gerektiği ile ilgili bize bilgi verir. Cam ne kadar kalınsa camın tavlama süresinde bir o kadar uzundur. Camın kompozisyonunu eğer bilmiyorsak harman içerisinde konulan kimyasallar nedeni ile nasıl bir tavlama süreci gerçekleştiği tespit edilememekte ve varsayım yapılmamaktadır. Kesin bir bilgi olmadığından hatalı bir tavlama işlemi uygulanır. Öncelikle camın ne kadar sürede genleşeceği sonrasında nasıl bir tavlama işlemi uygulanması gerektiği belirlenmelidir. Camın şekli ve şekillendirme işlemi cam eserin nasıl bir formda olduğu, tavlama işlemini etkilemektedir.

Camın şekillendirilmesi sırasında uygulan teknikler de tavlama işleminde farklılığa neden olmaktadır. Kalıpla şekillendirme tekniklerinde ısıtma işlemi süresi ve cam kalınlığı, ayrıca kalıp kalınlığı ve özelliği, çok daha farklı olduğu için füzyon tekniğinde

uygulan tavlama süreci çok farklıdır, kısaca daha uzundur denilebilir. Sıcak cam üfleme ve alevle çalışma tekniğinde ise camın ergitilip şekil verildikten sonra büyüklüğüne göre tavlama fırınına ya da kumun içine konularak tavlama işleminin uygulanması gerçekleştirilmektedir. Soğuk cam tekniğinde ise bunlardan farklı olarak kütle halinde bulunan camın içerisinde gerilimin kaldığının belirlenmesinin ardından, camın içindeki gerilim giderilinceye kadar uygun bir sıcaklıkta tavlama işleminin yeniden uygulanması gerekir. Yeterli süre tavlama yapılmamış camlar soğuk işlem sırasında içerisinde kalmış olan gerilim nedeniyle çatlak oluşup kırılabilir.

Cam eğer doğru ergitilip soğutulmaz ise camın içerisinde habbeler meydana gelir. Habbelerin oluşmasının bir başka nedeni ise çok küçük cam parçalarının ergitilmesi sırasında oluşan gaz kabarcıklarıdır. Cam ergimesi sırasında refrakter v.b malzemelerin camın içine karışması ile taşlar meydana gelir. Damarlar ise camın yeterince karışmamış olması ve ani değişen cam sıcaklıklarından kaynaklanmaktadır. Devitrifikasyon oluşması kristallenme sıcaklığı civarında uzun süre bekletilmiş olmasıdır.

Glasma 705, Ornella camlarının tavlama sıcaklığı ve süresinin belirlenmesi için çeşitli deneyler yapılmıştır. 1 cm'lik, 3 cm'lik, 5 cm'lik camlar ile yapılan deneylerin tavlama sıcaklığı ve tavlama süresi ortak sıcaklık ve süre olarak 550°C ve 600 dakika olarak belirlenmiştir. Daha ince olan camlar için daha kısa süre ve daha düşük sıcaklıkta iç gerilimlerin giderilebildiği Tablo 4.18-4.20'de gösterilmiştir. Glasma 705 camlarının döküm yöntemi ile cam sanat çalışması üretimi için oluşan devitrifikasyon nedeniyle zor bir cam olduğu gözlemlenmiştir.

Polariskop değerlendirmesinde sarı bölgelerin az olması ya da hiç olmaması istenen bir durumdur. Sarı bölgelerin olması demek camda tolere edilebilir düşük gerilimin olduğunu göstermektedir. Polariskop görüntüsünde özellikle kırmızı bölgelerin olması yüksek gerilimi göstermektedir. Mavi bölgeler ise kırmızı bölgeler gibi polariskop görüntüsünde sarı bölgelere göre daha yüksek gerilim varlığına işaret etmektedir.

Glasma 705 camları için ;

- 470°C tavlama sıcaklığında 15', 60', 600'lık bekleme sürelerinde 1cm'lik, 3 cm'lik, 5 cm'lik cam için uygun bir tavlama süresi ve sıcaklığı olmadığı görülmüştür.

- 510°C tavlama sıcaklığında 15' 'lık bekleme süresinde 1cm'lik camlarda gerilim olduğu, diğer sürelerde gerilimin giderildiği gözlenmiştir.
- 510°C tavlama sıcaklığında 60', 600' bekleme sürelerinde 3 cm'lik camlar için tavlama süresi ve tavlama sıcaklığı uygundur.
- 550°C tavlama sıcaklığında 600' bekleme süresinde 1cm'lik, 3 cm'lik, 5 cm'lik camlar için tavlama süresi ve tavlama sıcaklığı uygundur.

Glasma 705 camları için kalınlık arttıkça tavlama sıcaklığının en üst sınıra dayandırarak tavlama süresinin yapılması gerilimi azaltırken, bekleme sürelerinde düşürülmesini sağlar bu da daha az enerji kaybı demektir.

Ornella camları için;

- 430°C tavlama sıcaklığında 15',60', 600' 'lık bekleme sürelerinde cam için tavlama süresi ve tavlama sıcaklığı uygun olmadığı görülmüştür.
- 470°C tavlama sıcaklığında 60', 600' 'lık bekleme sürelerinde 1 cm'lik için tavlama süresi ve tavlama sıcaklığı uygundur.
- 510°C tavlama sıcaklığında 15',60', 600' 'lık bekleme sürelerinde 1 cm'lik camlar için tavlama sıcaklığı ve tavlama süresi uygun olsa da 3cm'lik camlarda gerilimin azaldığı gözlenmiştir.
- 550°C tavlama sıcaklığında 15',60', 600' 'lık bekleme sürelerinde 1cm'lik, 3 cm'lik, 5 cm'lik camlar için tavlama süresi ve tavlama sıcaklığı uygundur.

Ornella Mavi camları için;

- 550°C tavlama sıcaklığında 15' 'lık bekleme süresinde 1 cm cam için tavlama süresi uygundur.
- 550°C tavlama sıcaklığında 60' 'lık bekleme süresinde 3 cm camda ise içerisinde kılcal bir gerilim bulunmaktadır.
- 550°C tavlama sıcaklığında 600' 'lık bekleme süresinde olan camda ise gerilimin az olduğu ama yine 5 cm'lik camlar tekrar 120' daha tavlama işlemi uygulanmıştır.
- 550°C 600' bekleme süresinde 1cm'lik, 3 cm'lik, 5 cm'lik camlar için tavlama süresi ve tavlama sıcaklığı uygundur.

Ornella Mavi Şeffaf camlarında yapılan deneylerde camın renginin mavi ve polariskoptan yansıyan renginde mavi olmasından kaynaklı içerisinde oluşan renkler daha farklı yansımıştır. Yapılan tavlama sıcaklığı ölçümünde 470°C çıkmıştır. Bu sıcaklık yükseltildiğinde tavlama işlemi 40°C üstü 510°C olmasına rağmen 550°C tavlama işlemi yapılan camlarda içerisinde az miktarda gerilim olduğu gözlenmiştir. Yapılan bir başka deneme yolu olan cam çubuk yönteminde ise camlar 550°C tavlama işlemi uygulandığında camlarda eğilme olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçtan da yola çıkarak tavlama sıcaklığının yüksek olduğu daha düşük sıcaklıkta tavlama işlemi yapılacağı gözlenmiştir. 510°C çubukta hiçbir eğilme olmadığı gözlenmiştir. Ornella mavi camlarının bu sürede tavlanması gerektiği yapılan deneyler sonuçlarında doğruluğu gözlenmiştir.

Yapılan deneyler sonucu tavlama derecesi iki camda da 550°C olarak tespit edilmiştir. Et kalınlığına bağlı olarak camların tavlama süreleri değişebilmektedir. Bu çalışmalar polariskopu olan bir cam sanatçısının ya da cam ile uğraşan bir kişinin kullanmak istediği camın tavlama sıcaklığını ve tavlama süresini deneme yanılma yöntemi ile başarılı bir biçimde şekillendirme tekniğine uygun olarak bulabileceğini göstermektedir.

Ayrıca bu tez çalışması kapsamında kalıpla şekillendirme yöntemi ile üretilen camların tavlama sıcaklığının 40°C üstünde bir sınırdaki tavlama işlemi uygulanmıştır. Bu tercihte kalıpların et kalınlığı da belirleyici olmuştur. Camın belirlenen tavlama sıcaklığının 40°C üzerinde tavllanması ile gerilimlerin daha iyi giderildiği elde edilen sonuçlar doğrultusunda tespit edilmiştir.

KAYNAKÇA

Kitap kaynakları

Adams, K. (2005). The Complete Book Of Glass Beadmaking, New York: Lark Books
s.42

Ağatekin, M. (2018) Ders Notları

Anonim, Şişecam Cam Teknolojisine Giriş Kitabı, Şişecam Eğitim Notları

Arcasoy, A. (2014).Ders Notları

Başaran, S.(2000). Pişmiş Toprak ve Cam Eserlerin Konservasyon ve Restorasyonu,
İstanbul, Grapis Yayınları, s. 60.

Bayramoğlu, F.(1996). Beykoz Cam İşleri, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, s.10

Canav, Ü. (2013). Çağlar Boyu Cam Tasarımı, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul,
s.2-31

Charleston, R. J. (1978). Glass Furnaces Through The Ages, New York:The Corning
Museum of Glass, 9-10.

Coldiron, C. A. (2012). Sculpture And Desing With Recycled Glass,Schiffer
Publishing,s.86

Cumming, K. (2001).Techniques of kiln –formed glass, London : A & C Black

Davison, S. (2003). Conservation And Restoration Of Glass, Oxford:

Butterworth-Heinemann, s.140

Griffith, B.(1961). Kılın- Formed Glass, New York : Lark, an imprint of Sterling
Publishing

Halem, H (1996) Glass Notes, Kent, Ohio: Franklin Mills Press.s.

Karasu, B.- Ay, N. (2000). Cam Teknolojisi Temel Ders Kitabı, Milli Eğitim Basımevi,
Ankara, s.6

Kocabağ, D. (2002). Cam Kimyası Özellikleri, Uygulaması, İstanbul, Birsen
Yayınevi, s.177,178

Küçükerman, Ö. (2010) .Nazar Boncuğu, Ankara: Kültür Turizm Bakanlığı Yayınları.
s.10

- Küçükerman, Ö.(1985). Cam Sanatı ve Geleneksel Türk Camcılığında Örnekler,
Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları s.54
- Küçükerman, Ö. (1998) Türk Cam Sanayi ve Şişecam, İstanbul: Türkiye Şişe Cam
Fabrikaları, A.Ş yayınevi, s.22
- Küçükerman, Ö. (1978). Cam ve Çağdaş Tasarım İçindeki Yeri, İstanbul; Türkiye Şişe
ve Cam Fabrikaları A.Ş yayınevi, s. 43
- Küçükerman, Ö.(1997). Eczacıbaşı Sanat Ansiklopedisi, cilt:1, Yem yayınları, s.312
- Lundstrem, B. (1994).Kılın Firing Glass, Vitreous Pubns; Phoenix ed edition s.52
- Mears, E.R. (2003). Flameworking, New York: Lark Books, s.10
- Milli Eğitim Bakanlığı.(2013). Elde Serbest Şekillendirme, Ankara
- Opie, J. H. (2004)Contemporary international glass, London: V&A Publications s.35
- Özgümüş, Ü. (2000). Anadolu Camcılığı, Pera Yayıncılık, İstanbul, s.3,4
- Sümer, G. (2007). Cam Teknolojisi, Eskişehir, çağrı ofset .2007,s.2
- Weinberg, G. D. (1994). Glass Vessels in Ancient Greece, Publications of the
Archaialogikon Deltion, s. 28
- Whitehouse, D. (2012). Glass, A Short History, The British Museum Press, London,
s.20
- Zerwick, C.(1990). A Short History Of Glass, The Corning Museum Of Glass,
Corning-New York, s.12

Tez, makale kaynakları

- Arıburnu, D. (2015)Cam Üretiminde Etkin Tavlama ve Önemi, Şişecam Cam
Sempozyumu Bildiri
- Atik, Ş.(2004) M.Ö. I. Binde Anadolu’ da Cam Üretimi ve Tasarımı, Doktora Tezi,
İstanbul. Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.21.
- Aydın, M.(2016) Cam Sanatında Fırında Cam Biçimlendirme Yöntemlerinde
Kullanılan Refrakter Kalıp Karışımları ve cama etkileri, yüksek lisans tezi,
Eskişehir, Anadolu üniversitesi, sosyal bilimler enstitüsü

- Canav, Ü. (1986). Osmanlı Batı İlişkilerinde Camın Yeri, İstanbul, Türkiyemiz Dergisi, s.5
- Caron, B ve Lavoie, C. (1997). Un Fragment de Lampe Représentant un Four Verrier, New York: The Corning Museum of Glass s.197.
- Ertürk, N. (2017). Cam Sanatında Alevde Çalışma Tekniği, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi s.36
- Geylani, B. D. (2015). Çağdaş Cam Sanatında Açık Alevde Çalışmanın Yeri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü. s.45
- Gürses, S.(1996). Endüstriyel Cam Şekillendirme Yöntemleri, Sanatta Yeterlilik Tezi, İstanbul, Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü. s.2
- Kanyak, S. (2009). Cam fırınlarının tarihsel gelişimi, Yüksek Lisans tezi, İstanbul Mimar Sinan Güzel sanatlar üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü. s.18
- Karşlıoğlu, A. (2007). 1950’den Günümüze Cam Heykel Sanatı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir; Dokuz Eylül Üniversitesi. S.3
- Kavaz, B. (2011). Tralleis Cam Fırınlarının Geleneksel Cam Fırınları İle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü. s.12
- Ormancı, R. (1996). Cumhuriyet Dönemi Türk Camcılığı, I. Uluslararası Anadolu Cam Sanatı Sempozyumu (26-27 Nisan 1988), TŞCFAŞ Belge ve Bilgi Merkezi, İstanbul, s.132
- Özen Türedi,A - Alpman ,G. (1998). Mısır Uygarlığı Cam Sanatı, (makale) Sanatsal Mozaik Dergisi, İstanbul, 67-68.
- Özkul Fındık, N. (2007)Son Dönem Osmanlı Cam İmalatı Sektörü Oluşumu ve Avrupa Etkisi, Dini Araştırmalar, cilt:10, sayı: 28, s.165.

- Taştemür E. (2013). MÖ.7 Yüzyıldan 4. Yüzyıla Cam Kaseler, Doktora tezi, İstanbul; İstanbul Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü, s.1
- Taştemür, E. (2017)(a). Antik Cam Fırınları ve Anadolu Örnekleri, Türkiye Bilimciler Akademisi Arkeoloji dergisi, 10.22520/tubaar.2018.22.012
- Taştemür, E. (2017)(c) Harput iç kale kazısı cam fırınlarına ait kazılar, SDÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, sayı:41,s.70
- Taştemür, E.(2017)(b) . Arkeolojik Veriler Işığında Camın Tarihsel Süreci, Trakya üniversitesi edebiyat fakültesi dergisi, cilt :7 sayı:13, s.67
- Tek, A. T.(2005). Antik Dönemde Anadolu’da Cam Üretimi, The Ancient Time’s Glass Production in Anatolia, Seres, Eskişehir, s.108-123.
- User, İ. (1988). Cam Fırınlarda Ölçü Kontrol, Şişecam Cam Sempozyumu Bildiri
- Yaylalı, A. (2009). 2007 YILI Tralleis antik kenti kazı çalışmaları, 30. Kazı sonuçları toplantısı -3, Ankara: Ayır Basım s.17-40

İnternet kaynakları

- http1://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bts&arama=kelime&guid=TDK.GTS.5c470803bfa8e6.74779634(Erişim Tarihi 22.1.2019)
- <https6://www.bilgiustam.com/camin-icadi-ve-tarihcesi/> (Erişim Tarihi 6.2.2019)
- <https24://www.beyaztarih.com/ansiklopedi/cam> (Erişim Tarihi 6.2.2019)
- <https28://www.frmtr.com/genel-kultur-vatandaslik/713015-cam-nedir-camin-tarihi.html> (Erişim Tarihi 6.2.2019)
- <http32://www.kulturvarliklari.gov.tr/TR-44944/antik-cam-tarihi.html> (Erişim Tarihi 20.2.2019)
- <http76://www.mikroteklab.com/ud/665-cam-tavlama-firini> (Erişim Tarihi 25.2.2019)
- http77://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/13._Camlar.pdf (Erişim Tarihi 25.2.2019)
- <https84://www.glass-fusing-made-easy.com/annealing.html> (Erişim Tarihi 24.3.2019)
- <https95://www.bullseyeglass.com/methods-ideas/technotes-4-heat-a-glass.html>
- <https100://www.glass-fusing-made-easy.com/annealing.html>(Erişim Tarihi 25.3.2019)

<http://glasstips.blogspot.com/> (Erişim Tarihi 28.3.2019)

https://fusedglass.org/learn/technical_tutorials/glass_firing_schedules/learn-technical_tutorials-glass_firing_schedules-annealing/ (Erişim Tarihi 02.04.19)

Tanıtım broşürü

“Paőabahe Cam Zevki”, Tarihsiz Tanıtım Broşürü