

**SANATSAL CAM OLARAK KULLANIM İÇİN
CAM RENKLENDİRME VE UYGULAMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Khorram MANAFİDİZAJİ

Eskişehir, 2018

**SANATSAL CAM OLARAK KULLANIM İÇİN CAM RENKLENDİRME VE
UYGULAMASI**

Khorrām MANAFİDİZAJİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cam Anasanaat Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Göktağ GÜNKAYA

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Güzel Sanatlar Enstitüsü

Ağustos 2018

Bu tez çalışması BAP Komisyonunca kabul edilen 1604E155 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Khorrām MANAFİDİZAJİ'nin “Sanatsal Cam Olarak Kullanım için Cam Renklendirme ve Uygulaması” başlıklı tezi 10 Ağustos 2018 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 Göktağ GÜNKAYA

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ekrem KULA

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şerife YALÇIN YASTI

Prof. Dr. Münevver ÇAKI
Anadolu Üniversitesi
Güzel Sanatlar Enstitüsü Müdürü

ÖZET

SANATSAL CAM OLARAK KULLANIM İÇİN CAM RENKLENDİRME VE UYGULAMASI

Khorram MANAFİDİZAJİ

Cam Anasanat Dalı

Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Ağustos, 2018

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Göktuğ GÜNKAYA

Bu çalışmada, Anadolu Üniversitesi, Cam Bölümü imkanlarıyla saydam renkli cam üretmek için denemeler yapılmıştır. Bu denemelerde, seramik krozelerde cam ergitme işlemleri gerçekleştirilmiştir ve ham madde olarak soda-kireç-silika esaslı cam (Glasma 705) ve renklendirici olarak metal oksitler kullanılmıştır. Renkli cam üretimini bazı önemli değişkenler etkilemektedir: Bu etkenlerin en önemlisi, camın kompozisyonu ve harmanda bulunan renklendirici maddenin (genellikle metal oksitleri) yüzdesi ve saflığıdır. Renklendirici oksitler ağırlıkça %0.1- %5 aralığında cam kompozisyonuna ilave edilmiştir. Kompozisyondaki metal oksitin miktarının artırılması ile renk tonunun koyulaşması veya renk değişimi gözlemlenmiştir.

Sanatsal çalışmalarda kullanılan fırın camının (Glasma 705) termal genişleme katsayısı ile renkli ithal camların (ör: Bullseye) termal genişleme katsayıları farklı olmasından dolayı uyumlu olmayabilmektedir. Bu ve benzeri durumlarda sanatçı özgürce eser yaratmakta zorluk çekmektedir. Bu tez çalışması ile renkli cam kompozisyonlarının incelenmesi ve şeffaf fırın camıyla (Glasma 705) uyumlu olan renkli camların üretilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca ilave edilen çeşitli oranlardaki metal oksit ile renk tonu optimizasyonu yapılmıştır. Çalışma sonucunda üretilen renklendirilmiş camlar yüksek lisans tezinin sanatsal uygulamalarında kullanılarak çeşitli sanatsal cam ürünler elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Metal oksit, Şeffaf cam, Renkli cam, Cam renklendirme, Metal oksit ile renklendirme

ABSTRACT

COLORATION OF GLASS FOR ARTISTIC USE AND IT'S APPLICATION

Khorrām MANAFİDİZAJİ

Department of Glass

Anadolu University, Graduate School of Fine Arts,

September, 2018

Advisor: Asst. Prof. Dr. Gökтуğ GÜNKA YA

In this thesis, experiments were made to produce transparent colored glass with the facilities and capabilities of Anadolu University, Department of Glass. In the experiments, glass melting processes were performed in ceramic crucibles, waste soda-lime-silica glass (Glasma 705) have been used as raw material and the metal oxides have been used as the colorant. Some important factors affect colored glass production: The most important of these factors; the composition of glass and coloring materials found in it (usually metal oxides) and the percentage of metal oxides also purity of them. Coloring oxides have been added to the composition between the amounts of 0.1% - 5% wt. By increasing the amount of metal oxide in the composition, it is observed that the color tone is darkened or changed.

The thermal expansion of the furnace glass (Glasma 705) and the thermal expansion of the colored commercial glasses (e.g. Bulls Eye) which are used for artistic works sometimes can not be compatible due to different manufacturers or similar reasons. In these kind of conditions the artists have difficulty in creating glass work freely. This study is aimed to investigate the composition of colored glass and to produce colored glass which is compatible with the furnace glass. Also, the optimization of color tone have been done by adding different amount of metal oxides to glass composition. As a result of the study, the colored glasses produced as a result of experiments were used in the artistic practice part of master thesis and various artistic glass pieces has been obtained.

Keywords: Metal oxides, Clear glass, Colored glass, Glass coloring, Coloring with metal oxide.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, atölye ortamında cam renklendirme ile ilgili teknolojik ve sanatsal çalışmalarına ve araştırmalarında kullandığım süreçlere odaklanmış bulunmaktayım. Mümkün olduğu kadar bu konuda kişisel tecrübelerimi ve yorumlarımı ulaşılabilir veri tabanları kaynaklarını kullanarak derlemeye çalıştım. Sanatı ve bilimi buluşturan bu çalışmamın sanatçılar ve sanat öğrencilerine yararlı olmasını umut ediyorum.

Bu çalışmada, başta tez süresince desteği ve değerli bilgileri ile her zaman yanımda olan tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Göktuğ GÜNKAYA, uygulamalı ve sanatsal çalışmalarında bana destek olan ve her zaman zengin bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen sevgili Prof. Mustafa AĞATEKİN ve tez değerlendirme jürimde yer alan değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Ekrem KULA ve Dr. Öğr. Üyesi Şerife YALÇIN YASTI olmak üzere emeği geçen herkese sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme en içten saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.
İyi ki varsınız.

Khorram MANAFİDİZAJİ

10.08.2018

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tez/proje çalışmasının bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumunda bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilmeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan bilimsel intihal tespit programıyla 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 sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Khorrām MANAFİDİZAJİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI	ii
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAY SAYFASI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	xi
GÖRSELLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışmanın Kapsamı	1
1.3. Çalışmanın Yöntemi	2
2. CAM VE CAM RENKLENDİRME TARİHÇESİ	3
2.1. Camın Doğada Bulunuşu Ve Tarihsel Gelişimi	3
2.2. Cam Hammaddeler ve Üretim Süreçleri	14
2.3. Eski Cam Yapım Süreçlerinden Kanıtlar	14
2.4. Antik Çağda Cam Renklendirme	16
2.5. Pâte De Verre Tekniğinde Cam Renklendirme	22
3. CAMDA RENK GELİŞİMİ	26
3.1. Genel Olarak Renk	26
3.1.1. Renk teorileri	26
3.1.2. Renk kaynakları	27
3.1.2.1. Işık	27
3.1.2.2. Saçılma ve yansıma	28
3.1.2.3. Kırılma (Refraction)	29
3.1.2.4. Girişim (Interference)	30
3.1.2.5. Kırınım(Diffraction)	31

3.1.2.6. <i>Moleküler orbitaller</i>	32
3.2. Camın Yapısı ve Camda Renk Oluşumu	33
3.2.1. Camın yapısı	33
3.2.2. Camda renk görünümü	35
3.2.2.1. <i>Camda ışık absorpsiyonu nedeniyle renk</i>	36
3.2.2.2. <i>Camda ışık saçılması nedeniyle renk</i>	37
3.2.2.3. <i>Camda floresana bağlı görülen renkler</i>	38
3.2.2.4. <i>Camda fiziksel yapıya bağlı renk görünümü</i>	41
4. CAM RENKLENDİRME SÜRECİ VE MALZEME TESTİ	43
4.1. Camda Renk Oluşumu ve Kontrolü	44
4.1.1. Renk oluşumuna etki eden faktörler	45
4.1.1.1. <i>Cam bileşiminin etkisi</i>	46
4.1.1.2. <i>Redoks koşulların etkisi</i>	46
4.1.1.3. <i>Fırın atmosferi ve ergitme sıcaklığının etkisi</i>	46
4.2. Kullanılan Cam Türü	47
4.3. Renklendiriciler	47
4.4. Renkli Cam Üretim Süreci	48
4.4.1. Malzeme ve gereksinimler	48
4.4.1.1. <i>Kroze ve yapım yöntemi</i>	48
4.4.2. Pişirim diyagramı	51
4.4.3. Cam miktarı	52
4.4.4. Dilatometre analizi	54
4.4.5. Renk denemeleri	54
4.4.5.1. <i>Mor cam</i>	55
4.4.5.2. <i>Yeşil cam</i>	57
4.4.5.3. <i>Morumsu mavi cam</i>	64
4.4.5.4. <i>Turkuaz cam</i>	66
4.4.5.5. <i>Lacivert cam</i>	68
4.4.5.6. <i>Kütle füzyon denemeleri</i>	70

5. KİŞİSEL UYGULAMALAR.....	72
5.1. Tasarım	72
5.2. Uygulama	73
5.2.1. Model hazırlama	73
5.2.2. Kalıp hazırlama	75
5.2.3. Camların hazırlanması	75
5.2.3.1. Sanatsal işler için seçilen renkli camlar	76
5.2.4. Fırlama süreci	80
5.2.4.1. Fırlama diyagramı	80
5.2.4.2. Sıcak işlem ve karşılaşılan sorunlar	82
5.2.4.3. Soğuk işlem ile yapılan çalışmalar	88
SONUÇ	94
ÖZGEÇMİŞ	97
KAYNAKÇA.....	100

TABLO DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1. Renklendirici metal oksitler.....	45
Tablo 4.2. Renkli cam üretmek için kullanılan fırınlama diyagramı	52
Tablo 4.3. İki farklı renklendirici ile cam renklendirmek için kullanılan fırınlama diyagramı	61
Tablo 4.4. Renkli ve Glasma 705 camların füzyon fırın diyagramı	71
Tablo 5.1. Sanat eserlerini fırınlamak için birinci yöntemde uygulanan fırın diyagramı	80
Tablo 5.2. Sanat eserlerini fırınlamak için ikinci yöntemde uygulanan fırın diyagramı	81

GÖRSELLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Görsel 2.1. Obsidyen örneği	3
Görsel 2.2. Tektit örneği	4
Görsel 2.3. Moldavit örneği	4
Görsel 2.4. Fulgurit Örnekleri	4
Görsel 2.5. Libya çöl camı örneği	4
Görsel 2.6. Altın sandviç tekniği ile yapılmış Helenistik kase, Canosa, İtalya. M.Ö.275-200	6
Görsel 2.7. Üfleme tekniğinde cam yapımının tasvir edildiği toprak yağ kandil M.S. 1.yy.	7
Görsel 2.8. Diatret kase, M.S. 4. yy.	7
Görsel 2.9. Altın sandviç tekniği, "iyi çoban İsa" tasvirli kase dibi, M.S. 4.yy.	8
Görsel 2.10. İbrani Sembollerle süslenmiş olan altıgen hacı şişesi, Kudüs, 6-7. yy.	9
Görsel 2.11. Altın yıldız ve emaye cam kase, Venedik, San Marco, M.S. 11.yy.....	10
Görsel 2.12. Surname-i Humayun, Camcılar, 1582 Topkapı Sarayı Müzesi	11
Görsel 2.13. Harvey K. Littelton, Stüdyo Cam hareketi öncüsü.	13
Görsel 2.14. Kil tablet üzerine yazılı kırmızı cam reçetesi, M.Ö. 1400-1200, Mezopotamya, 8.25 cm*5.23 cm	15
Görsel 2.15. İsis Tanrıçası, cam mozaik, muhtemelen Mısır, M.Ö.1. yy.–M.S. 1.yy., 1.47*1.44 * 0.3 cm.	18
Görsel 2.16. Krateriskos, çekirdek şekillendirme, Mısır, M.Ö. 14.yy.	19
Görsel 2.17. Palmet ve zambak desenli dörtgen mozaik, Mısır M.S. 1.yy., 2.2*2.2*0.4 cm	20
Görsel 2.18. Amalric Walter, Chameleon Dish, yükseklik: 9cm, genişlik: 18cm, derinlik: 16cm	23
Görsel 2.19. Bullseye fabrikasında külçe ve düz cam, Portland, Oregon.	24
Görsel 3.1. Isaac Newton renk teorisi.....	27
Görsel 3.2. Elektromanyetik spektrumun şematik gösterimi.	28
Görsel 3.3. (solda) Düz yüzeyde ışık yansımaları ve pürüzlü yüzeyde ışık saçılması	

(sağda)	29
Görsel 3.4. Işık kırıklımı ve renk görünümü.....	30
Görsel 3.5. Işık ve girişim olayı sonucunda iridescent görüntü	31
Görsel 3.6. Opal taş ve elektron mikroskop görüntüsü, kürelerin boyutu 250 nm dir ...	32
Görsel 3.7. SiO ₄ tetrahedral birimi.....	33
Görsel 3.8. Crimson and Chestnut Fiori Boat, Dale Chihully, Loretto, KY United States, 2017	35
Görsel 3.9. Lycurgus Kupası yansıyan ve geçen ışıkta.....	36
Görsel 3.10. Foton absorpsiyonu ve elektron uyarılması.....	37
Görsel 3.11. Ortaçağı katedral pencerelerinde kullanılan ruby renkli cam	38
Görsel 3.12. Foton emisyonu (yayılmı)	39
Görsel 3.13. Uranyumlu cam	40
Görsel 3.14. Libensky and Brychtova, Kırmızı Piramid, 1993-99, 33*46 ³ / ₄ * 1 ³ / ₄ in.	41
Görsel 3.15. Vladimir Klein, Denge, 1996, 32 × 60 ×16 cm	42
Görsel 4.1. Glasma705 içeriği	47
Görsel 4.2. Bu tez süresince kullanılan Oksitler	48
Görsel 4.3. Isolab Kroze "Porselen" "Orta Form" - 50x40mm - 038.14.M50.....	49
Görsel 4.4. Platin kroze	50
Görsel 4.5. Renkli cam denemeleri için küçük boyutta seramik krozeler (solda) ve büyük miktarda renkli cam üretmek için büyük boyutlu seramik krozeler	50
Görsel 4.6. Sıcak cam döküm aşamaları	51
Görsel 4.7. 1150°C'de üretilen bakır oksit içerikli camlar ve meydana gelen taşma olayı	53
Görsel 4.8. Dilatometre analizi için hazırlanan çubuk örnekleri	54
Görsel 4.9. 1100° C'de manganez(IV) dioksit (MnO ₂) kullanarak üretilen mor camlar. Sırayla soldan: %0.1, %0.3, %0.5, %1 ve %3.....	56
Görsel 4.10. 1150°C'de manganez(IV) dioksit (MnO ₂) kullanarak üretilen mor camlar. Sırayla soldan: %0.1, %0.3, %0.5, %1 ve %3	56
Görsel 4.11. 1200°C'de manganez(IV) dioksit (MnO ₂) kullanarak üretilen mor camlar.	

Sırayla soldan: %0.1, %0.3, %0.5, %1 ve %3	56
Görsel 4.12. 1100°C'de krom(III)oksit (Cr_2O_3)kullanarak üretilen yeşil camlar. Sırayla soldan: %0.1, %0.3, %0.5, %1 ve %3.	57
Görsel 4.13. 1150°C'de krom(III)oksit (Cr_2O_3) kullanarak üretilen yeşil camlar. Sırayla soldan : 0.1%, 0.3%, 0.5%, 1% ve 3%	57
Görsel 4.14. 1100°C'de krom(III)oksit (Cr_2O_3) kullanarak üretilen yeşil camlar. Sırayla soldan : 0.1%, 0.3%, 0.5%, 1% ve 3%	58
Görsel 4.15. Aventurin cam, Murano 1875, Rossella Junck koleksiyonu, saplı kavanoz	58
Görsel 4.16. 1150°C'de ve %3 numunede oluşan kristaller.....	59
Görsel 4.17. Krom içerikli yeşil cam, Manganez dioksit içerikli mor cam ve Glasma 705 dilatometre analiz sonucu	60
Görsel 4.18. Üretilen sarımsı ve mavimsi yeşil camlar. 1,2: 0.1%, 2.5% bakır ilaveli mavimsi yeşil denemeler. 3,4: 0.1%, 2.5% demir ilaveli sarımsı yeşil denemeler	61
Görsel 4.19. 1150 °C'de üretilen camlar; 1: %0.1 Cr_2O_3 + %0.1 Fe_2O_3 , 2: %0.1 Cr_2O_3 + %0.1CuO, 3: %0.3 Cr_2O_3 + %0.3 Fe_2O_3 , 4: % 0.3 Cr_2O_3 + %0.3CuO, 5: %2.5% Cr_2O_3 + %2.5 CuO.....	62
Görsel 4.20. 1175 °C'de üretilen camlar; 1: 0.1% Cr_2O_3 + 0.1% Fe_2O_3 , 2: 0.1% Cr_2O_3 + 0.1% CuO, 3: 0.3% Cr_2O_3 + 0.3 Fe_2O_3 , 4: 0.3% Cr_2O_3 + 0.3% CuO, 5: 2.5% Cr_2O_3 + 2.5% CuO.....	62
Görsel 4.21. 1200 °C'de üretilen camlar; 1: 0.1% Cr_2O_3 + 0.1% Fe_2O_3 , 2: 0.1% Cr_2O_3 + 0.1% CuO, 3: 0.3% Cr_2O_3 + 0.3 Fe_2O_3 , 4: 0.3% Cr_2O_3 + 0.3% CuO, 5: 2.5% Cr_2O_3 + 2.5% Fe_2O_3	62
Görsel 4.22. Demir oksit ve bakır oksit ilaveli kromlu camların ve Glasma camının dilatometre analiz sonucu	63
Görsel 4.23. 1100°C'de kobalt oksit ve manganez dioksit kullanarak üretilen morumsu mavi camlar. Sırayla soldan: 1: % 0.002 CoO+%3MnO ₂ , 2: % 0.002CoO+% 5 MnO ₂ , 3: % 0.002CoO+%7 MnO ₂ , 4: % 0.006 CoO+%3 MnO ₂ , 5: % 0.006 CoO+% 5 MnO ₂ , 6: % 0.006CoO+% 7 MnO ₂	64

Görsel 4.24. 1150°C’de kobalt oksit ve manganez dioksit kullanarak üretilen morumsu mavi camlar: Sırayla soldan: 1: % 0.002 CoO+%3MnO ₂ , 2: % 0.002CoO+% 5 MnO ₂ , 3: % 0.002CoO+%7 MnO ₂ , 4: % 0.006 CoO+%3 MnO ₂ , 5: % 0.006 CoO+% 5 MnO ₂ , 6: % 0.006CoO+% 7 MnO ₂	64
Görsel 4.25. 1200°C’de kobalt oksit ve manganez dioksit kullanarak üretilen morumsu mavi camlar: Sırayla soldan: 1: % 0.002 CoO+%3MnO ₂ , 2: % 0.002CoO+% 5 MnO ₂ , 3: % 0.002CoO+%7 MnO ₂ , 4: % 0.006 CoO+%3 MnO ₂ , 5: % 0.006 CoO+% 5 MnO ₂ , 6: % 0.006CoO+% 7 MnO ₂	64
Görsel 4.26. Dilatometre analizi, Glasma 705(5), %0.001 CoO + %3 MnO(1), %0.001 CoO + %7 MnO(2), %0.006 CoO + %3 MnO(3), %0.006 CoO + %7 MnO(4)	65
Görsel 4.27. 1100°C’de bakır(II) oksit (CuO) kullanarak üretilen turkuaz camlar. Sırayla soldan: 1: %0.1, 2: %03, 3: %0.5, 4: %1, 5: %3	66
Görsel 4.28. 1150°C’de Bakır(II) oksit (CuO) kullanarak üretilen turkuaz camlar. Sırayla soldan: 1: %0.1, 2: %03, 3: %0.5, 4: %1, 5: %3.....	66
Görsel 4. 29. 1200°C’de Bakır(II) oksit (CuO) kullanarak üretilen turkuaz camlar. Sırayla soldan: 1: %0.1, 2: %03, 3: %0.5, 4: %1, 5: %3	67
Görsel 4.30. Turkuaz serisi, Glasma 705 ve döküm çamuru(kroze materyalı) Dilatometre analizlerin karşılaştırması	67
Görsel 4.31. 1100°C’de kobalt oksit kullanarak üretilen lacivert camlar. Sırayla soldan: 1: %0.1, 2: %03, 3: %0.5, 4: %1, 5: %3	68
Görsel 4.32. 1150°C’de kobalt oksit kullanarak üretilen lacivert camlar. Sırayla soldan: 1: %0.1, 2: %03, 3: %0.5, 4: %1, 5: %3	69
Görsel 4.33. 1200°C’de kobalt oksit kullanarak üretilen lacivert camlar. Sırayla soldan: 1: %0.1, 2: %03, 3: %0.5, 4: %1, 5: %	69
Görsel 4.34. 1150°C’de üretilen %3 kobalt oksit içeren numune	69
Görsel 4.35. Lacivert serisi, Glasma 705 ve döküm çamuru Dilatometre analizlerin karşılaştırılması	70

Görsel 4.36. Renkli ve Glasma 705 camların füzyon denemeleri, 1: %0.3 CoO içerikli, 2: % 0.002CoO+% 5 MnO ₂ içerikli, 3: %5 MnO ₂ içerikli, 4: %0.3 CuO, 5: %0.1 Cr ₂ O ₃ +%0.1 CoO, 6: %0.1 Cr ₂ O ₃ +%0.1 Fe ₂ O ₃ , 7: %0.1 Cr ₂ O ₃	71
Görsel 5.1. Kırık nestal'ik yazı örneği, Ahad Panahi, 2014.....	72
Görsel 5.2. Çalışma eskizlerinden örnekler.....	73
Görsel 5.3. Strafor kesme cihazında model kesimi ve model zımparalaması	74
Görsel 5.4. Sanatsal çalışmaların straför modelleri. Sırayla soldan: Ruh İkizi, Aşk bir tahterevallî ise....., Hırs	74
Görsel 5.5. Sanatsal çalışmaların straför modelleri. Sırayla soldan: Tutku, Ebedî ve Aşk Labirenti.....	74
Görsel 5.6. Alçı kalıp hazırlanması ve straförlerin kalıptan çıkarılması	75
Görsel 5.7. Metal kalıba cam dökümü.....	76
Görsel 5.8. 1200°C'de döküm yapılan koyu morumsu mavi cam (3% MnO ₂ + %0.01CoO)	76
Görsel 5.9. 1200°C'de döküm yapılan turkuaz renkli cam (%0.3 CuO).....	77
Görsel 5.10. 1200°C'de döküm yapılan zeytin yeşili renkli cam (%3 Fe ₂ O ₃)	77
Görsel 5.11. 1200°C'de döküm yapılan çim yeşili renkli cam (%0.1 Cr ₂ O ₃)	78
Görsel 5.12. 1150°C'de döküm yapılan koyu turkuaz cam (%1 CuO)	78
Görsel 5.13. 1200°C'de döküm yapılan mor cam (%5 MnO ₂)	79
Görsel 5.14. Camların kalıba yerleştirilmesi	79
Görsel 5.15. Maksimum sıcaklıkta fırının aşamalı soğutulması	81
Görsel 5.16. %3 Krom oksit içerikli yeşil cam ve Glasma 705 camın Isı Mikroskobu analizlerin karşılaştırılması	83
Görsel 5.17. Isının yayılma yolları	84
Görsel 5.18. Isıl işlem ile birleşen çalışmanın fırınlama öncesi ve sonrası	86
Görsel 5.19. Ruh ikizi adlı çalışma üçünü fırınlama sonrası	87
Görsel 5.20. "Ebedî" adlı çalışmanın fırın içi şekillendirmesi	88
Görsel 5.21. "Ebedî" adlı çalışmanın tansiyon bölgeleri polariskop altında	88
Görsel 5.22. Tutku, kalıpta şekillendirme,	89

Görsel 5.23. Aşk bir tahterevallî ise..., kalıpta şekillendirme,.....	89
Görsel 5.24. Hırs, kalıpta şekillendirme	90
Görsel 5.25. Ruh ikizi, kalıpta şekillendirme	91
Görsel 5.26. Ebedî, kalıpta şekillendirme	92
Görsel 5.27. Aşk labirenti, kalıpta şekillendirme	93

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Renk, antik çağda bulunan eserler incelendiğinde hangi bölgeye ve hangi döneme ait olduğunu, nasıl yapıldıklarını öğrenmemiz için kullanılabilen bir özelliktir. Teknoloji ve endüstri gelişimi sayesinde günümüzde renkli cam üretimi çeşitli alternatif yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Çeşitli kazılarda bulunan cam eşyalara göre şeffaf camın renklendirilmesi antik çağda başlatıldığı ve günümüze kadar geliştirildiği görülmektedir. Bu çalışmada özellikle Anadolu Üniversitesi Cam Bölümü imkanları dahilinde yapılan renklendirme başlangıç denemelerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Çalışma süresince bölüm imkanları değerlendirilecek olup, üretilen renklendirilmiş camlar ile sanatsal çalışma uygulamaları gerçekleştirilecektir. Sanatsal çalışmaların yanı sıra cam teknolojisini geliştirerek istenen renkteki camların üretimi ile yapılan çalışmalara özgünlük kazandırılmasına bir basamak daha yaklaşılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca ülkemizde cam sanatı veya teknolojisi ile ilgilenen kişiler için değerli bir kaynak elde edilecektir.

Genel olarak projenin amacı; cam kompozisyonunda metal oksitlerini değiştirerek istenilen renkli camların üretimi ile yüksek lisans tez çalışmasında üretilecek sanat eserlerine özgünlük kazandırmaktır. Ayrıca renkli cam teminini kolaylaştırmaktır.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Bu araştırma ile cam atölyelerinde bulunan cam ergitme fırınlarındaki şeffaf cam kullanılarak renkli cam üretilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, üretilen renklerin farklı varyasyonlarını elde etmek ikinci plan olarak amaçlanmıştır. Bu hedefe yönelik, şeffaf cam malzemedeki termal genişleme katsayısı ile renkli camdaki termal genişleme katsayılarının uyumu önemlidir. Şeffaf camın termal genişleme katsayısı ile uyumlu olacak şekilde renklendirici (metal oksitler) ilave edilmesiyle camların renklendirilmesi projenin ana fikridir. Uygun metal oksit ilave miktarını hesaplamak için denemeler yapılmıştır. Bu çalışma sayesinde 1200°C'lik fırın ile elde edilebilecek renkler ortaya konulmuştur. Araştırmanın temeli denemeye ve yeni sonuçlar elde etmeye dayalıdır.

1.3. Çalışmanın Yöntemi

Kütüphane ve veri tabanları kaynakları bu çalışma esnasında incelenmiştir. Çalışma sırasındaki yapılan denemeler ve uygulamalar Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi atölyeleri imkanları altında ve veri tabanları kaynaklarından edinilen bilgiler ile yapılmıştır.

2. CAM VE CAM RENKLENDİRME TARİHÇESİ

2.1. Camın Doğada Bulunuşu Ve Tarihsel Gelişimi

Cam, üretim tarihinden önce doğada var oluşu ile kayıtlara geçmiştir. Cam doğada obsidyen şeklinde bulunmaktadır (Bkz. Görsel 2.1). Obsidyenler, doğada volkanik patlamalar sırasında silika kütleleri gibi cam oluşumu için uygun malzemelerin ısı ile bir araya gelmesi, ergimesi ve hızlı şekilde soğuması sonucunda oluşan doğal ve silisyum esaslı şeffaf kahverengi-siyah camlardır. Bu malzeme keskin ve kırılğan olması nedeni ile erken dönem insanları tarafından değerlendirilip ok, bıçak ucu ve benzer aletlerde kullanılmıştır [1].



Görsel 2.1. *Obsidyen örneği*

Kaynak: <http://www.johnbetts-fineminerals.com>

Erişim tarihi: (28.05.2018)

Doğal camlardan bir başka örnek Tektit'tir (Bkz. Görsel 2.2); kara kayaların asteroid, meteor veya kuyruklu yıldız çarpması ve eritilmesi sonucunda oluşan birkaç santimetre büyüklüğünde doğal koyu renkli küresel silikat bazlı camdır. Tektit'in başka bir formu olan "Moldavit" (Bkz. Görsel 2.3) yeşil, yarı saydam doğal camdır ve sıklıkla mücevher yapımında kullanılmaktadır. Yıldırımların yeryüzüne düştükleri noktalarda yarattıkları yüksek ısının etkisi ile kum içerisindeki maden taneciklerini eritip ve kaynaştırdığında "Fulgurit" (Bkz. Görsel 2.4) adı verilen, boru şeklindeki camsı yapılar oluşur. Fulguritlerin oluşumu için ulaşılan sıcaklığın 4000°C civarında olduğu düşünülmektedir. Bunların yanı

sıra kumlu arazilerde meteor çarpmalarının sonucunda oluşan amorf şekilli “Libya çöl camı (Libyan desert glass)” (Bkz. Görsel 2.5) da en çok bilinen doğal cam örneklerindedir [2].



Görsel 2.2. *Tektit örneği*

Kaynak: <http://crystal-information.com/>

Erişim tarihi: (08.01.2017)



Görsel 2.3. *Moldavit örneği*

Kaynak: <https://en.wikipedia.org/wiki/Tektite>

Erişim tarihi: (08.01.2017)



Görsel 2.4. *Fulgurit Örnekleri*

Kaynak: <https://en.wikipedia.org/wiki/Fulgurite>

Erişim tarihi: (08.01.2017)



Görsel 2.5. *Libya çöl camı örneği*

Kaynak: https://en.wikipedia.org/wiki/Libyan_desert_glass

Erişim tarihi: (08.01.2017)

Cam üretimi başlangıcı hakkında bazı belirsizlikler bulunmaktadır ancak, ilk cam üretimin M.Ö. 3000 sonlarında Mezopotamya'da Bronz Çağ'da yapıldığı düşünülmektedir. Bu buluntuların arasında daha çok boncuklar, fayanslar ve seramiklerin üzerindeki sır üretimleri görülmektedir [3]. Pliny the Elder tarafından anlatılan bir hikayeye göre camın doğrudan bulunuşunun bir kazaya dayandığı söylenmektedir bu teoriye birçok kaynakta

rastlamak mümkündür. Hikayeye göre, Fenikeli denizci tüccarlar deniz kıyısında yemek pişirecekleri kapların üzerine koyacak ocak taşı bulamamalarından dolayı gemilerinin yükü olan nitrat içerikli kütlelerini ocak taşı niyetine kullanırlar. Nitrat içeren (potasyum nitrat, sodyum nitrat, potasyum karbonat veya sodyum karbonat, vs.) kütleler üzerine yemek yapmak amacıyla ateş yaktıklarında, pişirme ateşinin soda ve kumu cam haline getirdiği söylenmektedir. [4].

Erken dönemlerde cam üretimi iki farklı sektörde yapılmaktaydı: cam yapımı ve cam işleri üretimi (camcılık): "Cam yapımı", hammaddelerden cam üretimi, "camcılık" ise ham camın bitmiş nesnelere dönüştürülmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Bu ürünler aynı yerde yapılabilir, ancak, antik dünyada genellikle iki farklı bölgeye ayrılmış gibi görünmektedir [5]. Büyük olasılıkla kaynak açısından zengin olan, Mezopotamya'da (Irak, yanı sıra kuzeydoğu Suriye, güneydoğu Türkiye ve güneybatıdaki bazı bölgelerde) ve Mısır'da bulunan cam üretim merkezleri, çevredeki camcılık merkezlerine cam külçeleri ve fritleri ihraç ediyorlardı. Uzun mesafeli cam hammadde ticaretleri, M.Ö. 14. yüzyıl sonlarında Uluburun batığı ile yapılmaktaydı. Kargosu en az 175 cam döküm kütlesi içeriyordu; bunların hepsi olmasa da, büyük kısmı Mısır'da üretiliyordu. Cam ve cam objelerin ticaretinin kanıtı, Türkiye'nin güney kıyısındaki Uluburun Batığı gibi M.Ö. 14. yüzyılın sonlarında veya M.Ö. 13. yüzyılda, batık gemilerde bulunan külçelerdir. Batığın yüz üzerinde ve her biri yaklaşık 2 kg ağırlığında olan mavi cam külçeler taşıdığı bilinmektedir [5, 6].

En eski cam obje Mısır'da bulunan M.Ö. 4000'e tarihlenen şeffaf olmayan boncuklardır. Mezopotamya'da, Tell Asmar'da M.Ö. 23. yy'a tarihlenen yarı saydam mavi-yeşil çubuktan bir parça ve Güney Mezopotamya'da Eridu'da (şimdiki Irak) M.Ö. 21. yy'a tarihlenen çok kabarcıklı opak mavi cam parçası, ele geçen en eski cam buluntularındandır[6].

Mısır'da M.Ö.16. yüzyılın ikinci yarısında iç kalıp tekniğinin bulunuşu cam üretiminde büyük gelişime yol açmıştır. İç kalıp tekniğinin bulunuşuyla vazo gibi objelerin üretimi başlatılmıştır. Mezopotamya vazoları ve diğer cam objeleri Orta ve Yakın Doğu, İran, Babil, Suriye, Filistin, Akdeniz Sahilleri ve geç Bronz Çağı uygarlıkları Kıbrıs ve Yunanistan 'da bulunmaktadır.

M.Ö. 11. yüzyılda Doğu Akdeniz’de olan önemli imparatorlukların yıkılması ile cam üretimi ve ticaretinde duraksama yaşanmıştır ancak M.Ö. 8. yy’dan itibaren cam üretimi ve ticareti yeniden canlanmaya başlaması, iç kalıp, mozaik tekniği, döküm ve pres tekniklerinin icadı ile camın kullanımı yaygın hale gelmiştir [7].

Helenistik dönemi camın ticaret yolu ile yayıldığı ve cama olan talebin arttığı yılları kapsamaktadır. Bu dönemde mevcut teknikler devam etmiş ve altın sandviç tekniğinin icadı Roma dönemindeki cam sanatının gelişmesine yol açmıştır (Bkz. Görsel 2. 6).



Görsel 2.6. Altın sandviç tekniği ile yapılmış Helenistik kase, Canosa, İtalya. M.Ö.275-200

Kaynak: http://www.britishmuseum.org/research/collection_online

Erişim tarihi: (25.03.2018)

Camın genel anlamda endüstrileşmesi Roma dönemine rastlar. Üretim artışı ve camın insan yaşamında yaygınlaşmasının en önemli unsuru üfleme tekniğinin icadıdır. M. Ö. 1. y.y.’a ait toprak kandil üzerinde yer alan ve üfleme tekniği ile cam yapımını gösteren sahne bu tekniğin Roma döneminde ortaya çıktığını belgelemektedir (Bkz. Görsel 2.7).



Görsel 2.7. Üfleme tekniğinde cam yapımının tasvir edildiği toprak yağ kandil M.S. 1.yy. [8]

Büyük olasılıkla Suriye ve Filistin'de geliştiği sanılan üfleme tekniği, değişik formların seri üretimini sağlamıştır. Böylelikle bu dönemde ucuz cam üretimi başlamıştır. Tarih yazarı Strabon, daha önce sadece zenginlerin sahip olabildikleri cam kapların kendi döneminde birkaç bronza alınabileceğini belirtmiştir. M. Ö. 30'da imparator Agustus döneminde, cam değerli bir eşya olma özelliğini taşımının yanı sıra gündelik kullanıma da girmiştir. Bu nedenle cam kapların belli ölçüde seramik kaplarının yerini aldığı söylenebilir. Roma döneminde, üfleme tekniğinin yanı sıra diğer yapım ve süsleme teknikleri de gelişmiş, dolayısıyla bundan sonraki dönemlerde çok fazla farklılık görülmemektedir. Roma İmparatorluğu'nun geniş bir coğrafyada yaklaşık iki yüzyıla kadar uzun ve savaşız bir süreçte hüküm sürmesi, tüm sanat dallarında olduğu gibi camda da özgün tasarımlar yaratılmasını sağlamıştır (Bkz. Görsel 2.8) [9].



Görsel 2.8. Kafesli kase, M.S. 4. yy. [10]

Roma döneminde olan teknolojik gelişim, gündelik sofraya eşyalarına olan talebin artışına yol açmış, kavanoz, tabak, bardak ve şişe vs. gibi çeşitli boyutlar ve formlarda cam kaplar üretilmeye başlanmıştır. İlk kez cam üretiminin Avrupa'ya götürülmesi bu dönemde gerçekleşmiş ve İtalya'da özellikle Roma'da cam üretim atölyeleri kurulmuştur. Buradaki ilk üretimler Suriyeli ustalar tarafından gerçekleştirilmiştir [7].

Cam üretiminin ortaçağdaki durumu henüz net değildir ancak cam üretimine ilişkin bazı kaynaklar Ortaçağ'da ciddi bir endüstrinin varlığına işaret eder. Buna örnek olarak Bizans döneminde cam sanatının yöneticiler tarafından himaye edilmesi gösterilebilir. İmparator Konstantin M.S. 337'deki halk vergilerinden cam yapımcılarını ve cam dekoratörlerini muaf tutmuştur.

Erken Hristiyanlık çağında sık kullanılan teknik, altın sandviç tekniğidir (Bkz. Görsel 2.9). bu teknikten elimize ulaşan eserlerin büyük çoğunluğu geç Roma, erken Hristiyanlık çağının tipik ikonografisini yansıtan kase dileridir. Eserlerde Hristiyanlığa ilişkin unsurlar ile çok tanrılı inanç geleneğine bağlı ilginç sentezlemeler bulunmaktadır. M.S. 7. yüzyılda cam üretim merkezleri olan Mısır, Suriye, Filistin toprakların Araplar tarafından ele geçirilmesi ile Bizans cam üretimi olumsuz etkilenmiştir. Emevi ve daha sonra İslam cam sanatında, yüksek kabartmalı kesme, lüster ve emay gibi önemli tekniklerin bulunuşuyla büyük bir değişim yaşanmıştır [9].



Görsel 2.9. Altın sandviç tekniği, "iyi çoban İsa" tasvirli kase dibi, M.S. 4.yy. [11].

Erken Bizans döneminden günümüze ulaşan eserler olarak hacı kapları verilebilir. Suriye ve Filistin’de kalıba üfleme tekniği ile üretilen bu kaplar genelde altıgen ve sekizgen gövdelidirler. Bu şişeler hacılar tarafından kutsal yağ ve sıvı taşımak için kullanılan kaplardır (Bkz. Görsel 2.10).



Görsel 2.10. İbrani Sembollerle süslenmiş olan altıgen hacı şişesi, Kudüs, 6-7. Yy. [12].

Orta çağ cam üretiminde, Anadolu'nun rolü göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür. Arkeolojik ve epigrafik bulgular Anadolu’da Sardis, Alishar Höyüğü¹, Anamur, Antakya ve İstanbul gibi bir çok yerinde sabit cam atölyelerinin bulunduğunu belgelenmiştir. Bu dönemdeki cam üretim atölyeleri Bizans öncesi ve sonrasında kullanılmaktaydı [13].

M.S. 10-11. yy'da başkent İstanbul'daki cam üretimi hakkında bilgiler net değildir. Ancak bu yüzyıllarda ve daha sonraki yıllarda başkent’te cam yapımı geleneğini anlatan bazı kaynaklar mevcuttur. M.S. 11-12. yy'a ait bir kaynakta, bu yüzyıllarda İstanbul'da cam üretiminden bahsedilmiştir. Saraçhane kazısında, Orta Bizans dönemine ait tabakada bulunan eserlerin iki farklı grup oluşturduğu izlenmiştir. Bu nedenle İstanbul'daki cam imalatında göçmen ustaların yer aldığı veya cam ithal edilme teorisi öne sürülmüştür.

¹ Yozgat’ın 45 km güneydoğusunda, Alishar köyünün kuzeyinde bulunan bir höyüktür.

Ortaçağ'daki cam üretiminin kapasite ve önemi Serçe Limanı batığından ele geçen bulgulardan anlaşılmaktadır. Bu gemi, M.S. 1025 dolaylarında batmış, milliyet'i ve orijinali belli olmayan bir ticaret gemisidir. Gemide Bizans İmparatoru II. Basileos'a ait sikke ve Fatimi dönemine ait 1024-25 veya 1021-22 tarihi üç cam ağırlık bulunmuştur. Bulgular Ortaçağda cam üretiminde sayısal çokluk ve çeşitliliğin ne derece geniş boyutta olduğunu ortaya koymaktadır.

12-13. yy'lar Müslümanlar ve Hristiyanların mücadelesi dönemi olması ve Anadolu'nun stratejik olarak geçiş yolu üzerinde olması nedeniyle, diğer sanatlarda olduğu gibi, cam sanatında da kültür etkileşimi görülmektedir [9].

Bizans döneminde cam, aydınlatma elemanları, pencere camları, günlük kullanım eşyaları, duvar mozaikleri ve lüks obje olarak üretilmiştir. Bizans dönemi lüks cam üretiminde altın yıldız boyama ve emay tekniği kullanımına sıklıkla rastlanmaktadır (Bkz. Görsel 2.11).



Görsel 2.11. Altın yıldız ve emaye cam kase, Venedik, San Marco, M.S. 11.yy. [14]

Geleneksel Türk camcılığının, İstanbul'da 17.-18. y.y.'da Eğri kapı ile Tekfur Saray'ında oldukça gelişmiş bir seviyeye ulaştığını izlemekteyiz. Camın güçlü bir sanat olduğu III. Murat zamanında yapılmış olan Surname-I Humayun adlı el yazması içindeki minyatürlerle belgelenmektedir (Bkz. Görsel 2.12) [9].



Görsel 2.12. *Surname-i Humayun, Camcılar, 1582 Topkapı Sarayı Müzesi [15].*

Diğer sanat kollarında olduğu gibi cam sanatında da en büyük dönüşüm endüstri devrimi ile başlamıştır. Cam sanatının çağdaşlaşmasının bu tarihten itibaren başlamış olduğu bilinmektedir. Çağdaş cam sanatında, geleneksel cam sanatının temeli olan biçim ve işlev korelasyonundan ziyade cam sanatçıların hedefi yaratıcı ve özgün tasarımlar olmuştur. Endüstri devrimi ile birlikte camda önemli kimyasal ve teknik gelişmeler yapılmıştır. Dolayısıyla, farklı kompozisyonda camların ortaya çıkışı ile yeni biçimlendirme teknikleri geliştirilmiştir. Örnek olarak; 1830'da Bohemya camının mükemmelleştirilmesi 1835'de Almanya'da Uranyum Cam'ının geliştirilmesi, 1840'da ayna gümüşlenme yapılması gibi önemli adımlar verilebilir [9, 16].

İngiltere'de odun yerine kömürün kullanılması ve yüksek kalorili olduğu için yüksek buhar enerjisinin elde edilmesiyle endüstri devrimi hız kazanmıştır. Makineleşme ile birlikte ciddi anlamda cam konusunda devrim başlamıştır ve bu dönemden itibaren firma isimleri ortaya çıkmaya ayrıca cam ürünleri artık firma isimleri ile anılmaya başlamıştır. Endüstri devrimin cam sanatına getirdiği hızla birlikte bazı dezavantajları da olmuştur. Örneğin, devrim ile birlikte küçük cam atölyeleri yok olmaya başlamış ve büyük fabrikalar kurulmuştur. 1890 yılında dokulu tabaka üretimi yapan makine ilk kez üretilmiştir aynı zamanda Amerika'da dekorlu kalıplarla cam şekillendirme gündeme gelmiştir. Dolayısıyla, zahmetli kesme taşlama gibi soğuk işlemlerin yapılmasına gerek kalmamıştır. 20. yüzyıl başlarında (muhtemelen 1903 yılında), Michael Owens tarafından otomatik şişe üfleme makinesi icat edilmiştir. 1904'de otomatik şişe üfleme makineleri "Steube glass" adlı fabrikada kullanılmaya başlanmıştır. 1880-1910 yıllarında endüstrinin, sanatı yok etme fikrine karşı çıkan Art Nouveau cam sanatında da kendini göstermiştir. Bu anlayışın öncülerinden Fransa'dan Emile Galle ve Rene Lalique, Amerika'dan Louis Comfort Tiffany'nin çalışmaları, hem endüstri devrimi'nin tek düzeliğine karşı çıkmak bakımından hem de camın geleneksel algılanış biçimlerine yeni önermeler de getirmesi bakımından önemlidir. 19. Yüzyılda cam sanatçılarının fabrikalarda üretim yapabilmelerine olanak sağlanmıştır. 1950 yıllarında "Zeleny Brod" Cam Fabrika'sında bir tasarım merkezi kurulmasıyla kalıpla cam heykel yapma tekniklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Böylelikle sanatçı ve tasarımcıların aynı ortamda çalışmaları, karşılıklı etkileşim ve olumlu bir dönüşüm süreci yaratmıştır. Sanayi devriminde cam sanatına önemli katkıda bulunan diğer husus önemli sergilerin kurulmasıdır. Öncü sergilerden biri, 1851 yılında Londra'da, Crystal Palace'de endüstriyel içerikli " Great Exhibition of The Industry of All Nations" kurulan ilk uluslararası cam sergisidir. 1959 yılında Corning Cam Müzesi "Cam 1959" adlı ilk uluslararası cam sergisini düzenlemiştir. Çalışmaların %90'ı fabrikaların sanatsal olmayan özel işleri, %10'u sanatçılar ve cam ustaları tarafından yapılan çalışmalardı. Corning Cam Müzesi 1979 yılında tekrar "New Glass" sergisini organize etmiştir. çalışmaların %90'ı çağdaş cam sanatçıların işleri ve %10'u fabrika üretim işlerinden oluşmuştur. 20 yıl aralıkla yapılan bu iki sergiden zanaattan sanata bir yönelimi görmekteyiz.

Çağdaş cam sanatı oluşum ve gelişiminde önemli diğer ilkelere biri okullaşma sürecidir. Çekoslovakya'daki teknik okul, okullaşma sürecinin başlangıç noktası sayılmaktadır. Bu sistemde sanat öğrencilerine cam üretimi ve tasarımı hakkında kapsamlı eğitim verilmiştir. Çekoslovak cam okullarından, Kamenicky Senov 1856, Novy Bor 1870'de, Zeleny Brod ise 1920 tarihinde kurulmuştur. Okullaşma ile paralel olarak ilerleyen diğer Çağdaş cam sanatının gelişimini etkileyen ilke 1962'de Amerika'da başlayan Stüdyo Cam hareketidir. Bu hareket kapsamında, Harvey Littleton öncülüğü ile küçük bir grup sanatçı ve eğitimci camı fabrika dışına ufak atölyelere taşımışlardır (Bkz. Görsel 2.13). Bu atölyeler üniversitelerin ve müzelerin bünyelerinde kurulmuştur. Kısa sürede 60'lı yılların sonunda ve 70'li yıllarda ABD, Avrupa, İngiltere, Avustralya ve Asya'da ufak atölyeler yayılmayı başarmıştır. Günümüzde Amerika, Japonya, Çekoslovakya, İngiltere, Almanya ve İtalya gibi ülkeler sanatsal ve endüstriyel cam üretiminde başta gelmektedirler[16].



Görsel 2.13. *Harvey K. Littleton, Stüdyo Cam hareketi öncüsü.*

Kaynak. <http://host.madison.com/wsj/news/local/education/university/>

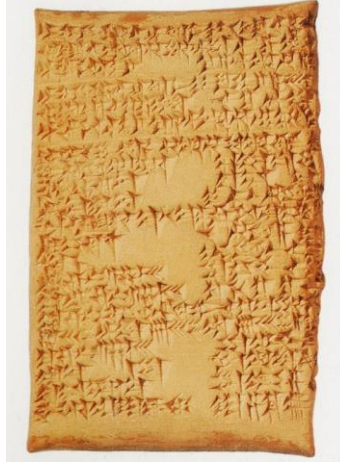
Erişim tarihi: (07.03.2017)

2.2. Cam Hammaddeler ve Üretim Süreçleri

Antik cam temel hammaddeleri günümüz cam hammaddeleri ile aynıdır: silika, kireç ve bir ergitici. Kum, çakıl taşı ve bazen deniz kabuğu öğütülerek gerekli kireç (lime) temin edilmektedir. Silikanın ergime sıcaklığı çok yüksek olduğu için (1700°C civarında) elde edilen camdan bir form üretmek için cam harmanına bir ergitici eklenmektedir. Ergiticiler camın ergime sıcaklığını yaklaşık 1100°C'ye kadar düşürmektedir. Antik çağda bu sebeple bazen kireç içeren bitki külü kullanılmaktadır. Bileşenler tartılmakta ve karıştırılmakta, daha sonra iki aşamada ergitilmektedir. İlk aşamada, karışım, granülasyon için yeterli yüksek bir sıcaklıkta ısıtılmaktadır. Bu işlemin önceden ısıtılmış bir fırında ve füzyona yol açmayacak kadar yüksek sıcaklıkta sürekli karıştırılarak yapılması gereklidir. İkinci aşamada, renklendiriciler veya renk açıcılar gibi ek malzemeler hazırlanan frit üzerine ilave edilip, homojen bir cam elde edilinceye kadar eritilmektedir. Muhtemelen bu iki aşamalı işlem camın eritilmesi için yüksek sıcaklıklara (1300°C - 1500°C) ulaşılmasından kaynaklanmaktadır. Bu işlemin bir başka avantajı da, nihai eritme işlemi sırasında bir potanın şarj sayısının ve ısı kaybının azaltılmasıdır [5, 17]. Mısır'ın Natrun vadisinde cam yapım sitelerinde bulunan ve M.Ö. 30 ile M.S. 359 yıllarına tarihlenen potalarda derin bir inceleme, farklı pota örneklerinin eritme için kullanıldığını belirtmektedir. Granülasyon işlemi için, potalar sadece 900° C' ye dayanıklı ve fritin kolayca çıkarılabilmesi için kolay kırılabilir malzemelerden yapılması gerekmektedir. Potalar iri taneli ve gevrek olduğundan dolayı tek kullanımlık olup işlem sonunda kırılmaktadır. Öte yandan eritme aşamasındaki potalar oldukça küçük taneli ve yüksek sıcaklıklara (Yaklaşık 1000°C-1100°C arasındaki sıcaklıklara) dayanmaları gerekmektedir [6]. Saleh Ahmed Saleh ve ark. Fritin son eritme işlemi için ergitici ile karıştırılmadan önce ince toz haline getirilmesini önermektedir[18].

2.3. Eski Cam Yapım Süreçlerinden Kanıtlar

Herhangi bir dönemin arkeolojik kaydında, özellikle en erken dönemlerin cam üretimine ilişkin kanıtlar nadirdir. Mezopotamya'da bulunan ilk cam reçetelerinin en iyi korunmuş olanı, Ninova'da (Ninova, Irak) Asurbanipal kütüphanesinden olan, M.Ö. 12 - 14. yüzyıllara ait çivi yazısıyla yazılmış bir kil levhadır. Bu levha üzerinde kırmızı camın nasıl yapıldığı yazılmaktadır (Bkz. Görsel 2.14).



Görsel 2.14. Kil tablet üzerine yazılı kırmızı cam reçetesi, M.Ö. 1400-1200, Mezopotamya, 8.25 cm*5.23 cm [19].

Antik çağda cam yapım süreci ritüel eylemler ile yapılmaktadır: "Cam yapmak için bir fırının temelini kurduğunuzda, ilk önce uygun bir ay ve uğurlu bir günü buluyorsunuz... yabancı veya vücudu temiz olmayan biri önünden geçmemelidir... bir koyun kurban ediyorsunuz ..." [20]. İki aşamalı ısıtma işlemi şu şekilde anlatılmaktadır: Frit, dövülmüş silikanın ve naga bitkisi küllü ile yaklaşık 850°C'lik düşük sıcaklıklarda veya "olgun üzüm renginde olan ısı" ile uzun süre sinterlenene kadar ısıtılmayla üretilmektedir. Soğutulduktan sonra öğütülüp, yaklaşık 1050°C'lik bir sıcaklıkta ya da "parlak altın sarısı renkte olan ısı" ile tekrar ateşlenmektedir. Sırayla sinterleme, eritme ve dökme için kullanılan üç farklı fırın türü tanımlanmaktadır [21]. Potalar da, hangi işleme yönelik olduklarına bağlı olarak kompozisyon, şekil ve boyut bakımından farklı yapılmaktadır. M.S. 1. yüzyılda yayınlanan Pliny the Elder'ın de "Natural History" yayınında , iki aşamalı bir süreç anlatılmaktadır: Belirli yerlerden gelen beyaz kum bir havana dökülüp öğütülür, nitre ile karıştırılır ve füzyon yapılır, daha sonra eritilmesi için ikinci bir fırına aktarılır. Ancak, Pliny the Elder bir zanaatkâr değildi ve cam yapımındaki yazılarının çoğu yanlış ya da eksiktir [6]. Frit ve eritme işlemleri büyük olasılıkla M.S. 12. yüzyıl başında Theophilus tarafından, pratik usta olduğu düşünülen bir Benedikt keşişi, Muhtemelen Köln yakınlarında (Almanya), el yazması olan *Artibus Diversibus*'da ayrıntılı olarak tarif edilmiştir. Adı geçen kaynakta gerekli fırınların yanı sıra malzemelerin hazırlanması ve farklı işlemler hakkında bilgi verilmektedir [22].

1612'de Floransalı keşiş ve cam üreticisi Antonio Neri “L'Arte Vetraria” cam reçete kitabını yayınlamıştır, daha sonra İngilizceye çevrilip ve 1662'de çevirmen Christopher Merrett'in yorum ve notları ile tekrar yayınlanmıştır. Metinde, malzemelerin hazırlanması açıklanmıştır, ancak daha çok fırınların bilgisi verilmiştir; Neri, farklı işlemler için gerekli olan miktarlara bağlı olarak, potaların çeşitliliğinden söz etmektedir; örneğin, kurşunlu camlar genellikle 20-30 kilogramlık potalarda, emaye için kullanılan camlar 2-3 kilograma kadar ve mücevherler için kullanılan yüksek kurşunlu camlar bir çömlekçi fırınında birkaç yüz gramlık potalarda eritilmektedir. Farklı metinleri karşılaştırırken, ekipman geliştirmeleri, katkı maddelerinin hazırlanması ve süreçler dikkate değerdir. Örneğin Ninova'dan çıkan çivi yazılı tablette, eritme işlemi sırasında karıştırmadan bahsetmemektedir; ancak ergitme basamakları arasında camın ince bir toz halinde gelene kadar öğütülmesi gerekiyordu; Theophilus'un eritme tanımlaması "bir gece ve bir gün" için karıştırmayı gerektirirken, Neri'nin talimatları yalnızca bir tırmıkla 5 saat karıştırma gerektirmektedir. Merrett, Neri'nin el yazısına eklenen yorumlarında, hazırlık süresinin ve gerekli işçiliğin önemli ölçüde azaltılmış olması için malzemelerin hazırlanmasında geliştirmeler ve mekanizasyonlar eklemiştir. Örneğin, Manganez, zaffre², kırık cam parçaları, vs. öğütülmesi için taşları sert mermerden yapılan atlı bir değirmenden bahsetmektedir. Renklendiriciler ile ilgili, Theophilus'un zamanında renk değişimi, içerdikleri maddelerdeki manganez ve demir miktarlarındaki değişikliğe ve oksidasyon durumuna bağlı olarak kazayla meydana gelmiş gibi görünmektedir. Neri, materyallerin saflaştırılması ve hazırlanması ve renklendirici maddelerin ilavesi ile ilgili ayrıntılı talimatlar vermektedir [6].

2.4. Antik Çağda Cam Renklendirme

Genellikle camı renklendirmek için hammaddeye metal oksit eklenmektedir. Antik çağda sıkça kullanılan renklendiriciler bakır, demir, kobalt ve manganez oksitleridir. Bu metal oksitler, atmosferdeki oksijen miktarına bağlı olarak farklı renklerin eldesini sağlamaktadır. İsteyerek renklendirilen camlara özel camlar denmektedir. Adı geçen

² Cam veya seramik sırların renklendirilmesinde kullanılan ve düşük saflıkta olan kobalt oksit. İtalyan zafferadan; Muhtemelen Latince sapphirrus, sapphire. safir ile ilgilidir.

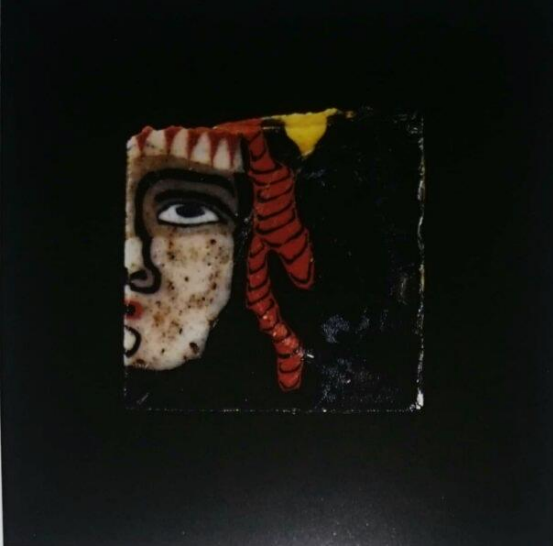
renklendiriciler ile renklendirilmemiş veya renk gidericiler kullanarak renksizleştirilmeyen mavimsi yeşil camlar, doğal camlar olarak adlandırılmaktadır [12].

Bugüne kadar elimize ulaşmış olan ilk renkli camların çoğu muhtemelen lapis lazuli (lacivert taşı) ve turkuaz gibi kıymetli taşların yerine kullanıldıkları için opak-yarı şeffaf niteliğindedir. Ayrıca, düşük pişirim sıcaklıklarından dolayı camda birçok mikroskobik kabarcık kalma nedeniyle şeffaflık ve saydamlık sağlanması zordu. Antik çağda üretilen camlar nadiren renksizdi. Erken dönem renkli transparan camla ilgili bazı kanıtlar vardır; örneğin, M.Ö. 23. yüzyıla ait yarı saydam açık mavi-yeşil cam çubuğu. Doğal camın soluk mavimsi rengi, hammaddesinde kullanılan çok güçlü bir renklendirme maddesi olan ve camlara mavi-yeşil bir renk veren Fe_2O_3 'in (Demir oksit) belirli bir miktarda bulunmasından kaynaklanmaktadır. Demir içerikli camlarda, fırın atmosferindeki oksijen miktarını kontrol ederek başka renklendiricilerin eklenmesi gerekmeden geniş bir sarımsı ve mavimsi yeşil renk aralığı elde edilebilmektedir. Safsızlıklar oksidasyon atmosferde, redüksiyon bir atmosferden daha farklı reaksiyona girmektedir. Redüksiyon ortamda demir, kükürt ile birleşerek sarımsı ve yeşilimsi kahverengiler (genellikle Amber veya bal rengi tonları) üretilebilmektedir [6, 8].

M.Ö. 16. yy'dan başlayarak, ilk cam kapların yapılmasından itibaren cam ustaları, frite metal oksit ekleyerek çok çeşitli parlak renkler üretmişlerdir. Bakır mavi, yeşil ve kırmızı tonları; manganez pembe ve morumsu kırmızı; İran veya Küçük Asya'dan (Anadolu'dan) bulunan ve Mısır'da sık sık kullanılan kobalt, koyu maviler üretiminde kullanılmaktadır. Bulunan erken camların çoğunun opaklığı veya yarı saydamlığı, daha önce bahsedildiği gibi düşük sıcaklıklarda üretilmesinden ve dolayısıyla soğutuldukça hava kabarcıklarının camda hapsolmesinden kaynaklanmıştır. Ancak bazen camı isteyerek opaklaştırmak için hammadde karışımına antimon eklenmiştir. Kurşun ile antimon karışımı, opak sarı ve antimon ile kalsiyum karışımı, opak beyaz eldesini sağlamaktadır. Renkli opak camların geniş kullanım alanları vitray pencereleriydi ve uygulanması en az 10. yy'a kadar uzanmaktadır.

Erken dönemlerde siyah cam yapmak çok zordu. M.Ö. 2. binyılın erken Mezopotamya ait bazı siyah camları indirgenmiş demir ile renklendirilirdi, fakat siyah görüntüsü genellikle renkli yarı saydam ve saydam camlarla yaratılmaktaydı. Çünkü ışık iletilmediğinde bu camlar siyah görünebilmektedir. Ptolemaios Krallığı ve Roma-Mısır dönemi mozaiklerinde,

siyahlar için en çok kullanılan renkler yarı saydam ve saydam manganez pembeleri ve morlarıydı (Bkz. Görsel 2.15); ancak koyu mavi ve koyu yeşil de ele geçirilmiştir. Tek bir parçadaki farklı siyahların kullanımı, en azından bazı atölyelerin, çeşitli renklerle siyah bir görünümün oluşturulabileceğinin çok iyi farkında olduklarının kanıtıdır [8].



Görsel 2.15. *İsis Tanrıçası, cam mozaik, muhtemelen Mısır, M.Ö. 1. yy. – M.S. 1. yy. 1.47*1.44*0.3 cm [8]*

Görsel 2.15'te gelen Mozağin siyah zemini; yarı saydam koyu pembeden, yüzü opak beyaz ve yüzü çevreleyen iki bukleli peruk; biri çene seviyesine kadar ve diğeri kulak seviyesine kadar gelmiştir. Saydam koyu pembeden yapılmış olan siyah peruk bukleleri opak kırmızıda gömülüdür. Kaş, burun, çene ve yanak, siyahla (saydam pembe) belirlenmiştir. Gözü, yarı saydam soluk mavi camdan ve kırmızı dudaklarıyla küçük açık ağzının iç kısmı ise opak siyah (mor) camdan yapılmıştır. Opak beyazdan yapılmış olan badem formlu gözünün gözbebeği ise siyahtır. Alında, opak kırmızıdan yapılmış olan stilize edilmiş Lotus tomurcukları göze çarpmaktadır. Siyah (yarı saydam) içine gömülü geniş opak sarı bandın ucu buklelerin üstünde görünmektedir. Sağda olan görselde, mozaikten ışık geçirilerek kullanılan renkli camlar (çoğu mor ve pembe) görünmektedir.

Transparan cam M.Ö. 15. yüzyılda yaygın hale gelmiştir, ancak üretilen renkler ışığı geçirmeyen fazla koyu renklerde üretilmekteydi. M.Ö. 1550 yıllarında çekirdek şekillendirme tekniğinin gelişile birlikte ebru gibi çok renkli (polikrom) tasarımlar ortaya çıktı (Bkz. Görsel 2.16), aynı anda mozaik çalışmaları için çubuk cam kullanımı yaygınlaştırmıştır. Günümüzde cam sanatçıları ve camcılar için cam uyumluluğu³ halen ciddi bir sorun sayılmaktadır ancak, çekirdek tekniğinde ve mozaik çalışmalarda çok renkli cam uyumluluğu için ileri teknik deneyler yapılmış olmalıdır [6].



Görsel 2.16. *Krateriskos, çekirdek şekillendirme, Mısır, M.Ö. 14.yy. [8]*

Şeffaf renksiz cam elde etmek için, camın demir gibi safsızlıklardan arınması gerekmektedir. Antik dönemde en yaygın renk giderici ajan az miktarda kullanılan antimon veya manganezdi. Renk gidericiler muhtemelen kazayla keşfedilmiştir. Bir renk giderici olarak antimon kullanımı, M.Ö. 8. yüzyılın başlarında Batı Asya'da ve sonra M.Ö. 5. ve 4. yüzyıllarda Yunanistan'da belgelenmiştir. Bu dönemde cam yapımcıları, lapis lazuli ve turkuaz yerine daha çok kaya kristalini taklit ediyorlardı. Pliny the Elder'in yazdığına göre, bu dönemde en yüksek fiyatlı camlar, mümkün oldukça kaya kristaline çok yakın, renksiz ve şeffaf camlardı. Ayrıca, aynı dönemde kristal kayalara benzer cam kap yapımı yaygınlaşmıştır. Pliny, opak kırmızı, "ölü" beyaz, sümbül (morumsu mavi) , safir ve birçok

³ Uyumlu camlar benzer genişleme katsayılarına sahiptir. Farklı genişleme katsayılarına sahip ısı işlem görmüş camlar soğutulduktan sonra çatlayacaklardır. Renklendirici oksitler genişleme katsayısını etkileyebilir.

diğer renkli camlardan bahsetmektedir [4]. Kaya kristali, doğada oluşan doğal kuvarştır. Büyük kaya kristallerin, kupa, kadeh vs. gibi formlarda şekillendirildiği söylenmektedir. Bunlar müzelerde tutulan tek gerçek kaya kristalleridir. Kaya kristali taklidi olan camlar, el yapımı ve iyi kesme ve parlatma işlemi gören renksiz cam eşyalardır. Günümüzde kristal camlar renkli veya renksiz iyi kesme işlemi görmüş olan cam kaplara deniyor. Son yıllarda, "kristal" kelimesi halk tarafından, iyi el yapımı camların ucuz camlara tezat oluşturduğunu belirtmek için benimsenmiştir. Dolayısıyla, "kristal" sadece renksiz camlara değil, kırmızı, amber vs. gibi renkli cam eşyalar için de kullanılmaktadır [23].

Mısır'da, bir renk giderici ajanı olarak manganez kullanımı 1. yüzyılın sonları ile birlikte başlamıştır. Siyah camın üretimi sırasında, manganezin renk giderici potansiyeli olduğu keşfedilmiştir. Wolf koleksiyonunda bulunan, zambak ve palmet desenli bir plaka böyle bir başarısız deneyim sonucudur (Bkz. Görsel 2.17).



Görsel 2.17. *Palmet ve zambak desenli dörtgen mozaik, Mısır M.S. 1.yy., 2.2*2.2*0.4 cm. [8]*

Bu plakanın zemini, yansıyan ışıkta muntazam ve homojen bir şekilde siyah görünse de, camın kendisi, transmisyon ışıkta sağdaki görselde görüldüğü gibi iki farklı renktedir. Palmetlerin bulunduğu zemin, yarı saydam mor rengi yerine manganezin miktarında olan yanlışlık nedeni ile renksizleştirilmiştir. Çünkü sanatçı çok az miktarda manganez ilave etmiştir. Buna benzer kazalardan, muhtemelen mısır camcılarının manganezin renklendirici olmasının yanı sıra miktarına bağlı renk giderici olarak da kullanılabileceğini keşfetmişlerdir [8].

Mezopotamya'ya ait reçetelerde renkli cam yapmak için çeşitli prosedürler tarif edilmiştir. Birçok cam üreticisi, kendileri ithal camları renklendiriyorlardı, Böylece, bir nesne farklı renkli camlar kullanıldığında birbiriyle uyumlu olma olasılığı daha yüksek olurdu. Mısır'daki el-Amarna ve diğer camcılık merkezlerinde küçük potaların ve renklendirilmemiş cam külçelerinin bulunması, Mısır camcılarının kendi renklerini oluşturduğunu göstermektedir. Benzer şekilde Roma döneminde birçok camcı cam renklendirme işlemini kendi atölyelerinde yapıyorlardı [24]. Kazılardan bulunan antik camlar orijinal renklerini topraktaki nem ve kimyasallara maruz kaldıklarından ve ayrışma denilen bir süreçte yüzeyden kireci atarak kaybetmişlerdir. Bu etkenler camın bileşimini değiştirerek cama yanardöner bir görünüm kazandırmaktadır [25].

Theophilus en eski Ortaçağ cam, metal ve resim eserleri üzerine yazdığı kitabın cam bölümünde bazı renklerin nasıl elde edildiğini şöyle açıklar:

Eğer bir potada camın renginin safran sarısına değiştiğini fark ediyorsanız, bu camı üç saat fırınlarsanız açık safran sarısı elde edeceksiniz. Fırınlanma süresi altı saate kadar uzatılırsa, kırmızımsı safran sarısı elde edilecektir. Potada sarımsı kahverengi cam olduğunda iki saat fırınlanırsa açık mor cam elde edilecektir. Aynı cam üç saat fazla fırınlanırsa kırmızımsı mor cam elde edilir [22].

Theophilus'un yazdıklarında, renk değişiklikleri, cam harmanının içindeki renklendirme maddenin yüzdesi, sıcaklık ve oksidasyon durumuna bağlı olarak meydana gelmektedir. Yazarın belirttiği şaşırtıcı bir durum bulunmaktadır: yapılan denemelere göre, turuncu-sarı renkte olan sıcak camdan herhangi bir renk kararını vermek son derece zordur. Muhtemelen Theophilus camla çalışırken camın soğumasıyla birlikte bir renk değişikliğinin gözlemlenmesinden bahsetmektedir. Ayrıca Theophilus'un amatör anlatım biçimine göre cam renklendirme hakkında herhangi bir bilimsel bilgisi olmadığı tahmin edilmektedir.

Floransalı keşiş ve camcı Neri, farklı harmanlar ve renkler hakkında detaylı bilgiler verip, renklendirme oksitlerinin nasıl hazırlanacağını çok çeşitli ve ayrıntılı bir şekilde açıklamaktadır. Ayrıca, rengin cama nasıl ekleneceğini, renk yoğunluğunu, yani farklı ebatlı nesnelere için gereken değer değişikliği, ve objelerin ebatlarını dikkate alarak aktarmaktadır. Neri, "The art of glass" adlı kitabının girişinde renkli camların üretilmesi ile ilgili genel talimatlar vermektedir:

“yaptığınız işlere göre daha koyu veya daha açık renkler üretmelisiniz. Koyu renkli cam için fazla renklendirici ve açık renkli cam için fazla frit koyunuz... Renklendiriciyi, daha iyi sonuç almak için cam eriyiğine değil frite koymanız gerekir” [26].

Venedik'te ilk cam üretimi referansı 982'de kaydedilmiştir. Venedik, kaynak açısından zengin olmasa da, örneğin Suriye gibi bölgelerden gelen bitki külleri ve diğer hammaddelerin ithalatını kolaylaştıran bir limandı. Ancak daha sonra Venedik, Ortaçağ'ın en önemli cam üretim merkezi haline geldi. Venedik cam üretimi üzerine, Neri'ye benzer bir reçete kitabı 1986 yılında İtalyanca ve İngilizce giriş ile yayınlandı. Bu kitap Venedik cam sanatçısı Giovanni Darduin'in not defteridir, babası Nicolo tarafından başlatılmıştır ve isimsiz bir cam sanatçısı tarafından bitirilmiştir. Kitap, yaklaşık 300 renk reçetesi (bazen tekrarlanan), malzemelerin hazırlanması, fırın sıcaklıkları ve atmosferinin kontrol edilmesi ile ilgili talimatlar vermektedir. 1200°C üzeri sıcaklıklara ulaşamadığı için hammaddeden cam üretimi için iki aşamalı bir işleme ihtiyaç duyulduğunu doğruluyor. Bir soda kireç camını eritmek için 1300°C-1400°C'ye kadar sıcaklık gereklidir. Camın arıtılması, yani çözünmeyen tuzların giderilmesi ve daha homojen hale getirilmesi için, yeniden eritmeden önce, erimiş camın tekrar tekrar suya dökülmesi işleminden bahsetmektedir [6].

2.5. Pâte De Verre Tekniğinde Cam Renklendirme

19. yüzyılın sonlarında, Fransa'da cam fritler ve tozlar kullanarak antik dönem cam döküm tekniğinin yeni bir yöntemi yeniden keşfedilmiştir ve pâte de verre veya pâtes de crystal (%50 kurşunlu kristal) olarak anılmaya başlanmıştır. Sürecin öncülerinden Henri Cros, Albert Dammouse, François-Émile Décorchemont, Georges Despret, Gabriel Argy-Rousseau ve Amalric Walter'dir. Üretilen objeler çoğunlukla çok renkli figüratif desenlere sahip kaplar ve heykellerdi (Bkz. Görsel 2.18).

Pete de verre tekniğinde döküm yapmak için renkli fritlerin üretilmesi gerekiyordu. İyi bir pate de verre yapım yöntemi, renkli frit üretimi de dahil olmak üzere, Argy-Rousseau ailesi tarafından 1976'da New York, Corning'deki Rakow Kütüphanesi'ne bağışlanan, Argy-Rousseaus'ın not defterinde⁴ kayıtlıdır. Bu el yazması 1978 yılında İngilizce'ye tercüme edilmiştir.

⁴ Gabriel Argy-Rousseau, “The Notebooks of Gabriel Argy-Rousseau. The Production of Pate-de-Verre.”



Görsel 2.18. Amalric Walter, *Chameleon Dish*, yükseklik: 9cm, genişlik: 18cm, derinlik: 16cm[27]

Adı geçen kitapta, Pâte de verre yapmak için kullanılan cam kompozisyonu, bileşenlerin hazırlanmasının talimatları, döküm metotları, borosilikat ve kurşunlu camlar için birçok renk reçeteleri, yanı sıra kalıp yapım işlemleri, fritlerin hazırlanması ve uygulanması ile ilgili notlar ve ayrıca fırınlama hakkında bilgi verilmiştir. Argy-Rousseau, az miktarda cam eritmek için bir pota ile bir gaz fırınının kullanımını açıklamaktadır. Ergitme sürecinin ilk aşamalarında, pota dolana kadar birkaç kez şarj edilmektedir. Yaklaşık beş saat sonra, camın tamamen eridiğinden emin olmak için kontrol gerçekleştirilmektedir. Camın eridiği takdirde, pota fırından alınır ve camlar frit haline getirilmek için suya dökülmektedir. Renkler çoğunlukla yarı saydam veya opak görünen bir dış renk katmanı olarak kullanılmak üzere ince tozlara öğütülmesi nedeniyle kullanılan oksitlerin yüzdeleri çoğunlukla koyu renkli sonuçlar verecek şekilde hesaplanmaktadır [6].

Stüdyo cam hareketi'nin çağdaş yorumucusu olan Antoine Leperlier, büyükbabası François Décorchemont'un teknik notlarından faydalanarak aile geleneğini sürdürmüştür ve kişisel görüşlerini de ekleyerek önemli bir sanatçı olarak ün salmıştır. Antoine ve Etienne Leperlier, Argy-Rousseau'ya benzer ama çok daha az detaylı bir biçimde, 1982'de üç aşamalı bir süreci tarif eemektedirler: Öncelikle camın renklendirilmesi, ikincisi modelleme ve son olarak döküm. Cam eritilmesi 5-10 kg kapasiteli refrakter potalarda yapılmaktadır. Metal oksitlerle karıştırılmış cam tozu, 1200°C-1300°C arasında hazırlanan potalarda bir fırına konulur. Soğutulduktan sonra, camlar potadan koparılır ve demir kaplarda elle öğütülüp ve elenir [6, 27].

20. yüzyıla kadar, cam imalatı ve camcılık çalışmaları, genellikle fabrikalarda ve kaynak açısından zengin alanlarda gerçekleştirilmiştir. Örneğin, Almanya'daki Black Forest (en azından 12. Yüzyıldan beri), Bohemya'da (şimdi Çek Cumhuriyeti) ve 13. yüzyıldan beri Silezya'da (şimdi Polonya'da), 15. Yüzyıldan beri Almanya'daki Bavyera Ormanı'nda, İngiltere'deki Stourbridge'de 17. Yüzyıldan itibaren, vb. 19. ve 20. yüzyıllarda pek çok yenilik getirilmiştir ve yeni süreçler icat edilmiştir. Bir örnek, Pilkington'un pencere camı yapmak için yeni süreçler geliştirmesidir. 1952 ve 1959 yılları arasında geliştirdiği yöntemler float camıyla işlemleri doruğa ulaştırmıştır.

Endüstri devrimi ile cam endüstrisini renkli camla beslemek için Farbglashütten (renkli cam işleri) fabrikaları kurulmaya başlanmıştır. Örneğin Doğu Saksonya'da bulunan *Farbglashütte Reichenbach* (FGR) 1866'da kurulmuştur, Sudetenland'da (şimdi Çek Cumhuriyeti) kurulan *Friedrich Farbglashütte GmbH* (şimdiki Kugler Colors), II. Dünya Savaşı'ndan sonra Almanya'da Neugablonz'a taşınmıştır. Tüm Avrupa, Kuzey ve Güney Amerika, Hindistan, Japonya ve Çin'den müşterilere tedarik etmişlerdir. 1960'ların başlarında başlayan stüdyo cam hareketinin kurulmasıyla birlikte stüdyo sanatçıları için ve daha sonra amatör çalışanlar için başka piyasa açılmışlardır: ABD'de, bu özel piyasayı tedarik etmek için çeşitli şirketler kurulmaya başlanmıştır. *Uroboros*, 1973'te cam sanatçısı Eric Lovell tarafından ve 1974'te *Bullseye Glass Co.* Faaliyete başlamıştır. Her ikisi de Portland, Oregon'da kurulmuştur ve vitray sanatçıları için füzyon, çöktürme ve daha sonra döküm için cam üretimi yapmaktadırlar [6] (Bkz. Görsel 2.19).



Görsel 2.19. *Bullseye fabrikasında külçe ve düz cam, Portland, Oregon.*

Kaynak: <http://www.bullseyeglass.com>

Erişim tarihi: (17.03.2018)

Gaffer Colour Glass Ltd. 1993 yılında John Croucher ve John Leggott tarafından Auckland, Yeni Zelanda'da kurulmuştur. Bu fabrika renkli rod, frit ve döküm için külçe üretmektedir. Avrupalı stüdyo cam sanatçıları şeffaf camlarını *Schott*'dan temin etmektedirler, ancak İngiltere'de, birçok sanatçı döküm camlarını kristal fabrikalardan temin etmektedirler: örneğin 1883'te Stourbridge'de kurulan “*Stuart Crystal*'dan” ve 1783'te İrlanda'da kurulan “*Waterford*'dan”. Bu fabrikaların kapanmasıyla yeni kaynaklar bulunmalıydı. En yaygın kullanılan döküm camları Gaffer'in kurşun kristalleri ve Bullseye'nin soda-kireç külçeleridir. Çok renkli cam fabrikası Banas, çok daha ekonomik bir renk yelpazesi sunmaktadır, ancak uyumluluk, garanti edilmemektedir.

Stüdyo ortamında, cam üfleyiciler bazen fırınlarında renk üretimi deneyleri yapmaktadırlar. Bir başlangıç noktası sağlamak için ne yazık ki literatür eksiktir. *Henry T Hellmers*'in cam formülleri ve *Fritz Lynngaard*'ın bir Alman reçete kitabı çevirisi gibi kitaplar, renkli ve şeffaf cam yapmak için tam tarifler içermektedir, ancak gerekli oksitler ve gereken miktarlar hakkında basit kurallar içermemektedir. *Glass Notes* ve *Ceramics and Glass: A Basic Technology* kitaplarında müphem ve belirsiz kurallar verilmiştir, Frederic Schuler *Glassforming: glass making for the craftsman* kitabında biraz daha ayrıntılı ancak yine kısa kurallar vermiştir. Renklendirme oksitleri tedarikçileri, cam üfleme için gerekli olan oksit miktarını belirleyebilmektedirler. Ancak cam dökümü için gereken oksit miktarını belirlemek çok daha zordur çünkü renk yoğunluğu, dökülecek nesnenin biçimine ve boyutuna bağlıdır. İdeal olarak, sanatçılar için cam renklendirmeye, farklı cam kalınlıklarında kullanılan oksit miktarının, yanı sıra görseller ve ayrıntılı açıklamalarını da içeren bir kılavuz oluşumu gerekmektedir.

Bu tez kapsamında stüdyo ortamında renkli cam üretim koşullarından bahsedilmiştir. Belirli renklere cam üretmek için gerekli metal oksit miktarı ve sıcaklığın etkileri incelenmiştir.

3. CAMDA RENK GELİŞİMİ

3.1. Genel Olarak Renk

Renk konusu günümüzde sanat dalları dışında fizik, kimya, psikoloji, fizyoloji gibi bilim dallarında da araştırılmaktadır. Objeler kendi başlarına herhangi bir renge sahip değildir ve renkler ışığın sonucudur. Yani renk, ışığın yapısına ve objeler üzerinde yayılımına bağlıdır ve gözde yaptığı etkidir [28]. Dolayısıyla bir nesnenin rengini algılamamız; ışığın rengine, nesneyi aydınlatan beyaz ışık bileşimine ve renkli ışıkların yüzeyden yansıma oranı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır [29]. Ünlü filozof Bertrand Russell renk ile ilgili diyor ki “ bir rengi gördüğümde onun ne renk olduğunu tam olarak biliyorum”. Ancak renk üzerine konuşmak oldukça zordur [30].

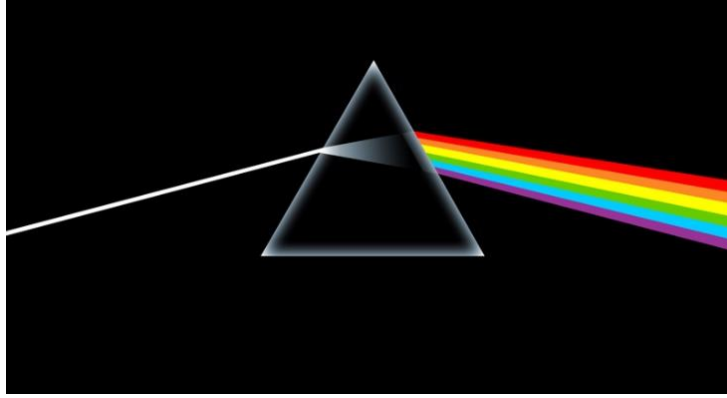
Pek çok kişi, renk görme sürecinin veya genel olarak vizyon sürecinin ayrıntılı bir bilimsel açıklamasının bulunmadığını öğrenince şaşırabilmektedir. Gözlerimizin lenslerinden geçen ışık, retinanın dört çeşit ışığa duyarlı hücreleri tarafından absorbe edilebilmektedir ve elektrokimyasal sinyaller üretilebilmektedir. Bu sinyaller beynin içinde çeşitli aşamalardan geçip insanların deneyimlediği görsel dünyayı yaratmaktadırlar [31].

3.1.1. Renk teorileri

Tarihte renk teorileri üzerine ilk çalışmalar erken Yunan, Arap psikolog ve fizyologları tarafından, renkleri nasıl gördüğümüzü anlamak için yapılmıştır. Ancak Aristoteles’in fikirleri renk araştırmacıları tarafından daha çok kabul edilmiş ve Rönesans dönemine kadar incelenmiştir. Bu filozofa göre renklerin tüm varyasyonları ışığın ve karanlığın karışımının bir sonucudur [32]. Aristoteles’in yanı sıra Platon ve Plinus gibi düşünürler de renklerin toprak, ateş, hava, su gibi temel öğelerden olduğunu ileri sürülmektedir. Leonardo Da Vinci aynı görüşü savunarak, sarının toprağa, yeşilin suya, mavinin havaya, kırmızının ateşe ve siyahın karanlığa ait olduğunu yazmıştır [33].

17. yüzyılda Isaac Newton karanlık odada bir demet ışığı üçgen bir prizmadan geçirip gökkuşağında olduğu gibi yedi rengi “güneş tayfi” (spektrum) beyaz perde üzerine yansıtmıştır (Bkz. Görsel 3. 1). Prizmadan geçen her rengin kendine has dalga boyu vardır.

En uzun dalga boylu (700 nm) kırmızı renge ve en kısa dalga boyu (410 nm) mor renge aittir [34]. Newton bu deneme ile renk biliminin temelini başlatmıştır. Üç temel renk teorisi 18. yüzyılda kabul edilmiş ve geliştirilerek uygulanmaktadır [35].



Görsel 3.1. *Isaac Newton renk teorisi.*

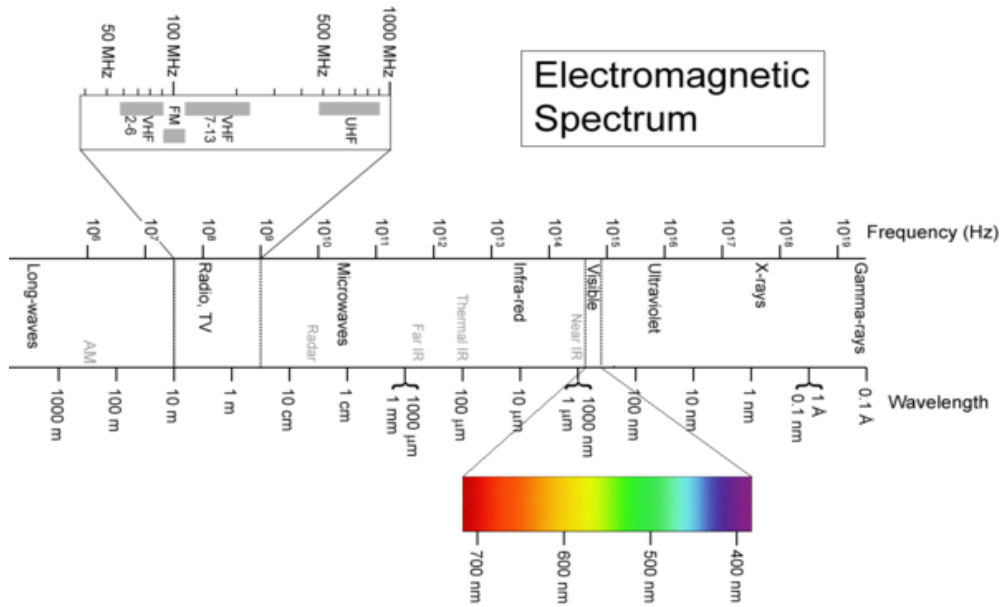
Kaynak: <http://facweb.cs.depaul.edu/sgrais/color%20physics.htm>

Erişim tarihi: (14.06.2018)

3.1.2. Renk kaynakları

3.1.2.1. Işık

Işık, belirli bir elektromanyetik radyasyon serisinden oluşan, uzaydan aktarılan enerjidir, henüz adlandırılmayan fenomen için uygun bir isimdir. Elektromanyetik radyasyon, enerji içeriğine bağlı olarak X ışınları, ultraviyole (UV), radyo dalgaları gibi farklı isimlerle adlandırılır. Görsel duyu organımız olan insan gözü, elektromanyetik radyasyon bandında sadece görünür spektruma duyarlıdır (Bkz. Görsel 3.2).



Görsel 3.2. Elektromanyetik spektrumun şematik gösterimi.

Kaynak: <https://blogcalondokter.wordpress.com/2010/12/07/radiasi-elektromagnetik/>

Elektromanyetik radyasyonun temel yapısı ve taşınma şekli henüz tam olarak bilinmemektedir. Bazı deneylere göre bu radyasyonlar, dalga şeklinde ya da kuantum (tekil kuantum) veya fotonlar olarak adlandırılan tek enerji paketleri şeklinde taşınmaktadır. Elektromanyetik radyasyon, madde ile farklı şekillerde etkileşime girebilmektedir.

Bu etkileşim şekilleri;

Absorbsiyon: Kuantum madde tarafından absorbe edilir, belirli etkileşimlere girerek ve belli miktarda enerji kaybederek maddeden geri çıkar.

İletim: Kuantum değişmeden maddeden geçer; belirli formlar kuantum hızını değiştirebilir dolayısıyla kuantum yönünü değiştirebilir (Kırılma).

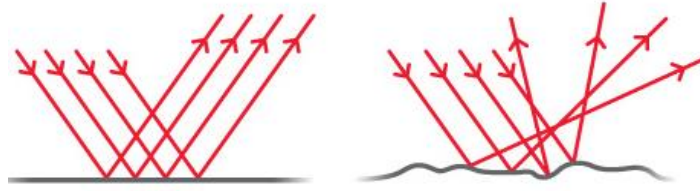
Saçılma (scattering): Kuantum bazı maddelerden geçemez ve dağılır veya yansır. Bu süreçte yön değişir.

Girişim (interference): kuantum, belirli koşullarda komşu kuantum ile etkileşime girebilir.

3.1.2.2. Saçılma ve yansımaya

Işık kaynağından çıkıp gözümüze girene kadar atmosferdeki tanecik ve objelerden geçerek yön değişikliğine uğrar. Eğer ışık geniş bir enerji bandından oluşuyorsa, farklı enerji

seviyelerindeki etkileşim, spektral güç saçılmasındaki değişikliklere neden olur ve bakıldığında, renk deneyimlerine yol açabilmektedir. Gerçek nesnelere⁵ üzerlerine düşen tüm ışık enerjisini absorbe etmezler ve fotonların bazılarını dağıtıp (scatter) veya yansıtırlar (reflect). Yansıma, özel bir saçılma şeklidir. Saçılma ve yansıma olaylarında objenin düz yüzeyine gelen fotonlar yönünü değiştirip geri dönerler (bir topun duvara çarpıp yön değiştirmesi gibi) (Bkz. Görsel 3.3)



Görsel 3.3. (solda) Düz yüzeyde ışık yansıması ve pürüzlü yüzeyde ışık saçılması (sağda).

Güneş ışığı atmosferden geçtiğinde dalga boyu kısa olan ışınlar uzaydaki su damlacıkları ve toz taneciklerine dokunarak dağılır ve gökyüzünün mavi görünmesine neden olur. Uzun dalga boylu ışınlar ise çok saçılmadan atmosferden geçip objelerin yüzeyine dokunduğunda dağılır veya yansır; objelerin farklı renklerde görülmesine neden olur. Örneğin mavi alakarga ve yalıçapkını kuşların kanatlarının renkli görünme nedeni kanat yüzeyindeki ışığın saçılmasıdır [36].

3.1.2.3. Kırılma (refraction)

Objelerin gözümüze renkli görülmelerinin diğer nedeni, fotonların bir materyalden diğerine geçtiğinde kırılmasından meydana gelmektedir. Genellikle su ve cam gibi transparan maddelerde ışığın kırılmasından bahsedilmektedir. Bu fenomen gökkuşağının oluşumu ve bir kamerada veya gözümüzde görüntü oluşumunun temelidir. Fotonlar gözümüz veya kamera lensinden geçtiğinde yön değiştirerek küçük ve ters imge oluşumuna neden olur. Fotonun enerji seviyesine göre yön değişimi farklı olur dolayısıyla ışığı bir prizmadan geçirip kırma olayı ile ışığın farklı dalga boyları ayrılabilir. Ayrılmış ışıklar ayna veya beyaz

⁵ . fiziksel dünyada var olan veya gerçekleşen, hayali olmayan, hayali veya teorik olmayan.

yüzeyden yansıdığında ışığın dalga boyutuna göre farklı renklerin görünümüne neden olmaktadır. Kırılmanın en göz alıcı doğal görüntüsü gökkuşağıdır. Kırılma etkileri kesilmiş kristal, elmas veya parıltılı diğer değerli taşlarda da görülebilmektedir (Bkz. Görsel 3.4) [36, 37].



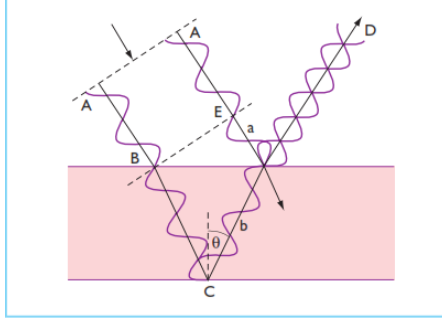
Görsel 3.4. Işık kırıklımı ve renk görünümü.

Kaynak: <http://www.artofcgi.com/2017/...>

Erişim tarihi: (27.08.2017)

3.1.2.4. Girişim (Interference)

Yağmurdan sonra benzin istasyonları veya araba tamircilerinin yakınında, su birikintileri yüzeyinde çok renkli parlak tabaka en sık görülen olaydır. Benzer şekilde, estetik açıdan daha çekici ve daha parlak renkler bazı kelebeklerin kanatlarında belli bir açıdan bakıldığında veya tavus kuşu ve bazı kuşların tüylerinde görülebilmektedir. Bu renk görünümü yanardöner (iridescent olarak) adlandırılır. yanardöner renk görünümü girişim adlandırılan fiziksel olaydan meydana gelmektedir. Bu olayda ışık dalgaları geçici olarak bir ortamdan diğer ortama geçtiğinde parçalanır ve aynı ortamın diğer tarafından yansıdığında tekrar birleşip yanardöner görünüm sağlanır. Tipik bir girişim kaynağı, su üzerinde bir yağ filmi veya bir sabun köpüğü gibi ince şeffaf bir filmidir(Bkz. Görsel 3.5) [35-37].



Görsel 3.5. Işık ve girişim olayı sonucunda iridescent görüntü.

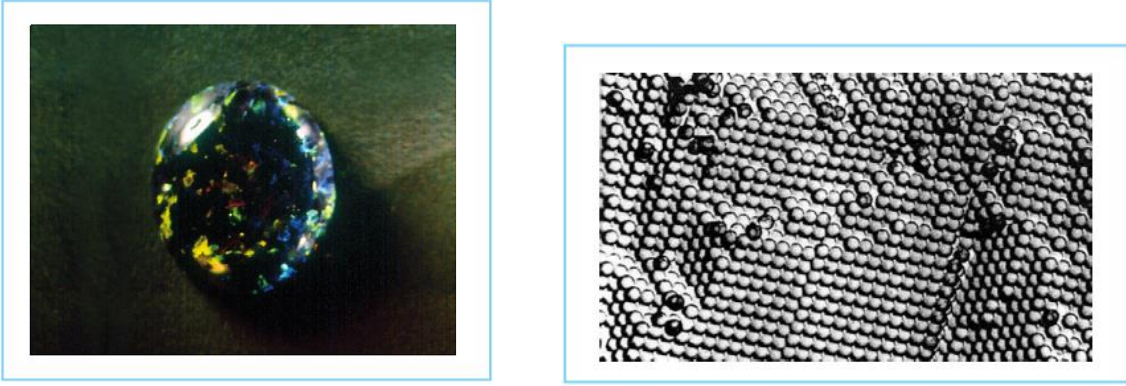
Kaynak: <https://nenedir.com.tr/girisim-nedir/>

Erişim tarihi: (23.06.2018)

3.1.2.5 Kırınım (Diffraction)

Işıқта kırınım veya difraksiyon, saçılma (scattering) ve girişimin birleşik etkisinin özel bir durumudur ve genellikle katı maddelerin sivri kenarlarda meydana gelmektedir. Işığın dalga boyu, kenarın sivriliği ve özellikleri, geçen ışığın yansımaları, saçılması, absorpsiyon ve girişiminde etkilidir. Örneğin: eğer bir cam veya metal plaka yüzeyinde çizgi (kırınım ağı) bulunursa kenarlara saçılan ışıklarda girişim olayı meydana gelmektedir [36]. Kırınım ağı, indigo yılanı, Serica gibi böceklerde ve hayvanlar aleminde renk görünümünü sağlarlar. Bu canlıların vücutlarının yüzeyi, 'sıvı kristaller' adlı organik bileşimli bir yapıya sahiptirler. Bu bileşiklerde bir kristal ve bir sıvı arasındaki bağ ışıkla etkileşip kırınım olayını meydana getirerek renk görünümüne sebep olur [38].

Kırınım olayının somut örneği, değerli opal taşıdır. Bu taşlardaki yanardöner görünüm, taş yüzeyindeki ince tabakadan ve dolayısıyla ışık girişiminden meydana geldiği düşünülmüştür. Ancak elektron mikroskobu görüntüleri ile bu taş bünyesinde üç boyutlu eşit kürelerin dizini görülmüştür (Bkz. Görsel 3.6). Kürelerin gerçek bileşimi, küçük bir miktar su içeren amorf silika, farklı bir miktarda su içeren daha amorf silika ile birleşmiştir, ve böylece küreler arasında küçük bir kırılma indisi farkı gerçekleşmektedir ve bu renk görünümüne neden olmaktadır [38].



Görsel 3.6. *Opal taş ve elektron mikroskop görüntüsü, kürelerin boyutu 250 nm dir [38] .*

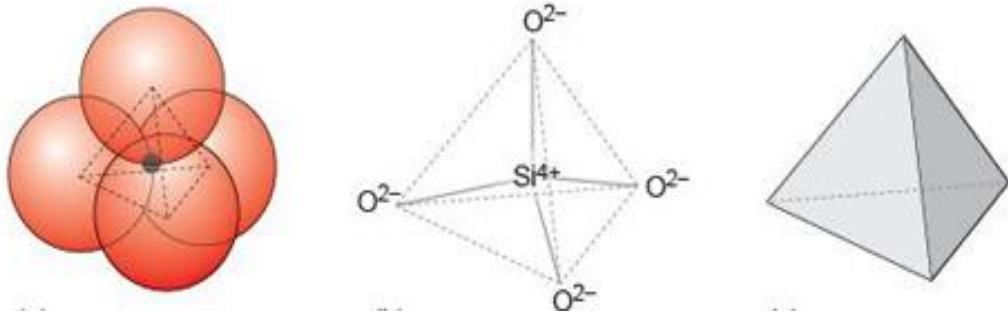
3.1.2.6. Moleküler orbitaller

Moleküllerde olduğu gibi atomlarda da, elektronlar çekirdeğin etrafındaki yörüngelerde (orbitallerde) bulunmaktadır. İki atomun orbital elektronları olarak adlandırılan en dış orbitallerindeki elektronlar kararlı bir çift oluşturduğunda, sonuç kimyasal bir bağ ve bir molekülün oluşumudur. Bazı moleküllerde, orbital elektronları belirli bir yerle sınırlı değildir ve daha geniş alanlarda gezebilirler. Bu davranışlar renk görünümüne neden olabilmektedir. Örnek olarak safir taşı temelinde kristal yapıcı olarak alüminyum oksit içermektedir. Ayrıca belli bir miktarda safsızlık olarak demir ve titanyum içermektedir. Bu safsızlıklar bazı moleküllerde alüminyum atomları ile yer değiştirmektedir. Alüminyum üç, demir iki ve titanyum dört elektrik yüküne sahiptirler. Titanyum elektronlarının biri demir atomlarına geçmek ister ve sonuç olarak her iki atomda üç elektrik yükü bulunur. Elektronların uyarılmış hale gelmeleri ile sonuçlanır. Gereken enerji, yaklaşık 550 ile 700 nm'nin üzerindeki geniş bir bantta görünür aralıkta absorbe edilen fotonlar ile sağlanabilmektedir. Uyarılmış elektronlar tarafından açığa çıkan enerji kızılötesi banttadır ve bu nedenle görünür değildir. Ancak 400 ila 550 nm arası ışık yansıtılarak derin mavi renk hissi ortaya çıkartılmaktadır [36].

3.2. Camın Yapısı ve Camda Renk Oluşumu

3.2.1. Camın yapısı

Cam genelde silikat esası, yüksek sıcaklıkta erimiş halden hızlı ve kristalleşmeden oda sıcaklığına kadar soğutulmuş amorf maddedir. Erimiş camın atomları soğuyunca, kristal düzene girmeden önce düzensiz bir yapı oluşturur. Cam oluşumunun en basit formülü R_nO_m formu olabilmektedir ve bu formun en basit örneği SiO_2 'dir. Silikatların yapı ağını oluşturan birimi silisyum tetrahedronudur (Bkz. Görsel 2.7). Bu tetrahedronda Si, kendisinden daha büyük 4 adet oksijen atomuyla çevrilidir. Silika tetrahedraları köşelerde birbirleriyle bağlanırlar. İki silika atomu arasındaki oksijen köprü rolü vardır.



Görsel 3.7. SiO_4 tetrahedral birimi.

Kaynak: <http://www.open.edu/openlearn>.

Erişim tarihi: (04.07.2017)

Bu özelliklere sahip olan ve cam ağını oluşturan katyonların sayısı sınırlıdır. Bunlardan en önemlileri: B_2O_3 (bor oksit-dibor trioksit), SiO_2 (silisyum dioksit-silika), P_2O_5 (fosfor pentaoksit). Bunlar tek bileşenli camlar oluşturabilirler. Bazı bileşenler ise sadece belli durumlarda cam oluşturucu olarak kullanılabilir. Bunlar; Al_2O_3 , Bi_2O_3 , GeO_2 , As_2O_3 , TeO_2 , V_2O_5 ve Ga_2O_3 'ü içermektedir. Bunların arasında GeO_2 hariç hiç birisi tek başına kolayca cam oluşturamazlar ancak hızlı soğutuldukları ve buhar çöktürme gibi yöntemler ile kullanıldığında veya diğer oksitlerle belli oranlarda karıştırıldığında cam oluşturucu madde olarak kullanılabilirler.

Camların kullanılışlarına göre bir çoğunda birden fazla oksit bulunmaktadır. Cam yapısında yer alan oksitleri beş grupta toplanabilir. Bunlar cam ağı oluşturan oksitler, modifiye edici oksitler, şartlı cam yapıcılar, renklendirici oksitler ve rafine edicilerdir. Bazı

oksitler farklı camlarda özel kullanışlarına göre birden fazla grupta yer alabilirler. Örneğin alümina (Al_2O_3); bu oksit camlarda cam yapıcı oksit ve silika camlarında modifiye edici oksit olarak kullanılabilir veya arsenik oksit rafine edici ve şebeke oluşturuçu olarak, camdaki oranına ve cam türüne bağılı olarak iki farklı amaçla kullanılabilir [39].

Cam yapısında ağ oluşturan oksitlere ilave olarak kullanılan önemli oksitler:

Sc_2O_3 (skandiyum oksit), La_2O_3 (lantanyum oksit), Y_2O_3 (yitriyum oksit), SnO (kalay oksit), Ga_2O_3 (galyum oksit), PbO_2 (kurşun dioksit), MgO (magnezyum oksit-agnezya) LiO (lityumoksit), PbO (kurşun oksit), ZnO (çinko oksit), BaO (baryum oksit), CaO (kalsiyum oksit -kireç), SrO (stronsiyum oksit), CdO (kadmiyum oksit), Na_2O (sodyum oksit), K_2O (potasyum oksit), Rb_2O (rubidyum oksit) cam ergimesini modifiye etmek amacıyla cam kompozisyonuna eklenmektedirler. Şartlı cam yapıcı olarak da bu oksitleri kullanabiliriz:

ZnO (çinko oksit), TiO_2 (titanyum oksit), Al_2O_3 (alüminyum oksit- alümina), PbO (kurşun oksit), ThO_2 (toryum oksit), CdO (kadmiyum oksit), BeO (berilyum oksit), ZrO_2 (zirkonya), V_2O_5 (vanadyum pentaoksit) [39].

En yaygın ve uygun maliyetli cam türü, genellikle % 60-75 silisyum oksit, % 12-18 sodyum oksit, % 5-12 kalsiyum oksit ve az miktarda diğere ilave maddeler içeren soda-kireç camıdır. Bu cam düz cam, şişe ve diğere kaplar, masa ve dekoratif camlar yapmak için kullanılmaktadır. Birçok stüdyo cam sanatçısı tarafından da kullanılır. Kurşun camı ise yüksek oranda (% 20-40) kurşun oksit içerir. Yüksek kırılma indeksi, düşük yumuşama sıcaklığı ve geniş çalışma sıcaklık aralığı, pahalı sofra takımları ve kesme ve gravür camlar için sıklıkla kullanılmaktadır. Stüdyo cam sanatçıları döküm ve cam üfleme için kullanıyorlar. Borosilikat cam, en az % 5 bor oksit içeren bir silikat camıdır. Sıcaklık değişimine ve kimyasal korozyona karşı oldukça dirençlidir. Borosilikat ürünlerine örnek olarak ampuller, fotokromik camlar, laboratuvar malzemeleri vs. ürünler verilebilir. Dale Chihuly gibi bazı stüdyo cam sanatçıları açık hava heykelleri için borosilikat cam kullanmaktadırlar (Bkz. Görsel 3.8).



Görsel 3.8. *Crimson and Chestnut Fiori Boat*, Dale Chihully, Loretto, KY United States, 2017

Kaynak: <https://www.chihuly.com/>.

Erişim tarihi: (08.06.2018)

3.2.2. Camda renk görünümü

Camda renk oluşumu farklı nedenlerden kaynaklanabilmektedir. Camda renk oluşumunun temel nedeni ışıktır. Cam parçasına giren ışık spektrumu camla etkileştiğinde değişip çeşitli olaylara yol açabilmektedir. Gelen ışınların bir kısmı yansıtılır, bir kısmı absorbe edilir ve saçılır ancak kalan kısım varsa camdan geçer. Bu olaylardan yansıma ikinci derecede önemlidir çünkü ticari camlarda ışığın sadece %10'u yüzeyden yansır.

Eğer cam görünür spektrumun ışığın bir kısmını absorbe ederse veya dağıtırsa (scatter) kalan bölgeyi daha kolay geçirir ve renk görünümü meydana gelir. Eğer belirli dalga boylarında absorbe veya saçılma meydana gelmezse, camın rengi camdan geçen ışığın fraksiyonuna bağlı olarak şeffaf renk ile gri tonları veya siyah arasında değişebilir [40].

Renk algısında gözden kaçmaması gereken ikinci bir faktör, gelen ışığın niteliğidir. Bir akkor ampulden gelen yapay ışık, bir floresan lamba tarafından üretilen ışıktan ve her ikisi de doğal güneş ışığından oldukça farklıdır. Farklı ışıklar cam renginde belirgin farklılıklara neden olabilmektedir. Örneğin geç Roma dönemine ait Lycurgus Kupası yansıyan ışıktan opak yeşil ve iletilen (transmitted) ışıktan şeffaf kırmızı renkte görünmektedir (Bkz. Görsel 3.9) [41].



Görsel 3.9. *Lycurgus Kupası yansıyan ve geçen ışıkta.*

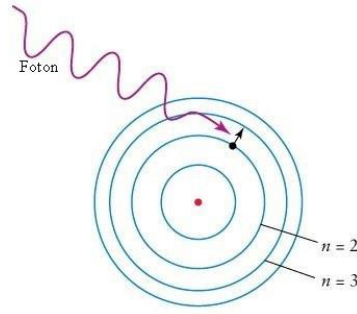
Kaynak: <https://www.smithsonianmag.com/>

Erişim tarihi: (06.05.2018)

Camda ışıktan kaynaklanan renkler ışın absorpsiyonu ve ışın saçılması başlıkları şeklinde ayrılabilir. Renkli camların çoğu, renklerini yüzeye gelen görünür spektrumun belirli bölgelerinde absorpsiyon gerçekleşmesine, ancak bazı özel camlar ise renklerini, seçili ışıkların saçılmasına (scatter) borçludur [40].

3.2.2.1. Camda ışık absorpsiyonu nedeniyle renk

Absorpsiyon ile meydana gelen renklerin hepsinde aynı fenomen bulunmaktadır. Bu tür renkler, maddenin içinde bulunan renklendirici taneciklerin görünür ışınların absorpsiyonu ile oluşmaktadır. Absorpsiyon sürecinde, herhangi bir renk merkezindeki bir elektron düşük enerji seviyesinden daha yüksek bir enerji seviyesine kadar uyarılır. Bu işlemdeki enerji absorbe edilen görünür ışık fotonlarından sağlanmaktadır (Bkz. Görsel 3.10). Asal gaz elektron konfigürasyonlarına sahip iyonlar, yani dış katmanı tamamen dolu iyonlar, renk oluşumuna neden olmazlar. Bu iyonlarda, bir elektronu bir üst seviyeye çıkarmak için gerekli enerjinin yüksek olması gerekmektedir, böylece absorbe edilen ışık fotonları, morötesi bölgesinde olması gerekmektedir.



Görsel 3.10. Foton absorpsiyonu ve elektron uyarılması.

Kaynak: <http://www.kuark.org/>

Erişim tarihi: (05.06.2018)

Camda görünür ışık fotonları absorpsiyonu ile renk görünümüne neden olan ve en çok kullanılan iyonlar, birinci sıra geçiş elementleridir. Bu iyonlarda (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) 3d elektron seviyelerinde boşluk bulunduğu için görünür ışık absorpsiyonu ile elektron transferi ve renk görünümü gerçekleşebilmektedir.

Benzer seri, 5s orbitalinden sonra 4d orbital ve 6s seviyelerinden sonra 5d seviyelerinin doldurulmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu iki dizi element, ikinci ve üçüncü geçiş serileri olarak bilinir. Bu elementler arasında renkli cam teknolojisinde sadece birkaç iyonun kullanımı yaygın hale gelmiştir. Lantanitler (nadir topraklar) ve Aktinitlerden Uranyum iyonu camda renk verici özelliğine sahiptirler.

Geçiş metali iyonlarının özelliklerinin çoğu renk de dahil olmak üzere, mevcut olan d-elektronların sayısına ve düzenlemesine bağlıdır [40, 42].

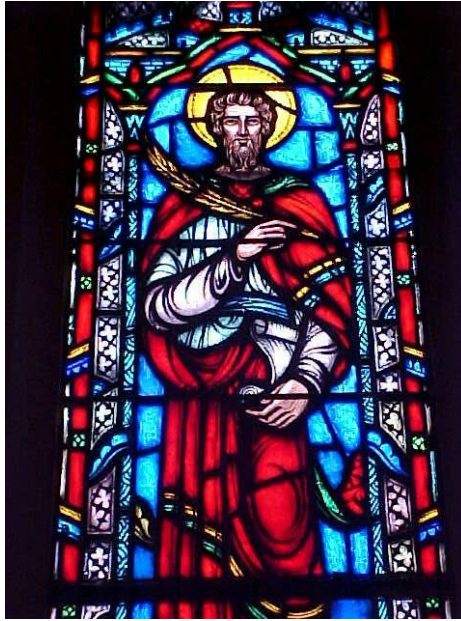
3.2.2.2. Camda ışık saçılması nedeniyle renk

Işığın geçtiği bir malzeme homojen değilse ışığın bir kısmı dağılır. Bu fenomen cam konusunda bazı problemlere neden olmaktadır (optik camlarda) ve minimize edilmesi gerekmektedir. Ancak ticari camlarda istenilen ışık saçılma özelliği, camsı malzeme içinde asılı duran bir fazın kristal taneciklerinden kaynaklanmaktadır. Bu kristaller; bakır, altın gibi metaller ve flüorürler, fosfatlar, sülfidler gibi bileşenleri içermektedir. Bu işlemin esası camsı fazın bazı bileşenlerle süper-doygun hale gelmesidir. Bu faz daha sonra nükleasyona uğrar

ve görünür ışığı dağıtmak için uygun boyutta olan kristaller büyür. Bu kristallerin oluşumu ve büyüklüğünün kontrolü karmaşık bir olaydır [43].

Kristallerin oluşumu ve büyümesi ergime sıcaklığı, süreç ve malzeme doygunluk seviyesine bağlıdır. Ayrıca, bazı metaller ve bileşenler için ergitme sürecinin redoks koşullarda yapılması da önemlidir. Örneğin, CdS kristalitleri indirgenmiş koşullar altında oluşturulmalıdır.

Işık saçılımı ile renklendirilmiş bir diğer cam örneği kolloidal rubydir. Böyle bir renkli camı üretmek için bakır veya altın metalik kristalitler kullanılabilir. Metalik taneciklerin sayısı rengin şiddetini (koyu veya açık olmasını) ve taneciklerin boyutu rengi belirler. Ruby renkli camlarda mavi ışık saçılır ve kırmızı ışık camdan geçer ve ruby kırmızısı görünümü sağlanır [40] (Bkz. Görsel 3.11).



Görsel 3.11. Ortaçağı katedral pencerelerinde kullanılan ruby renkli cam.

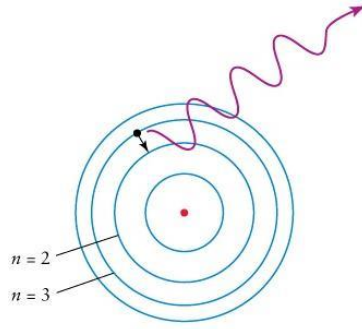
Kaynak: <http://nano--tech.blogspot.com.tr/p/history.html> .

Erişim tarihi: (25.05.2018)

3.2.2.3. Camda floresana bağlı görülen renkler

Işık absorpsiyonuna neden olan iyonik renkler "çıkarılan (subtractive)" olarak adlandırılır; çünkü görünür ışık spektrumunun bir kısmı absorpsiyon yoluyla çıkarılır. Floresan

renkler elektron geçişlerinden kaynaklanır; ancak bu durumda elektron daha yüksek bir elektron seviyesinden düşük seviyeye düştüğünde görünür ışık fotonunu yayar yani emisyon olayı meydana gelir (Bkz. Görsel 3.12). Dolayısıyla floresan renkler "katkı madde (additive)" olarak atfedilebilir.



Görsel 3.12. Foton emisyonu (yayılımı)

Kaynak: <https://sites.ualberta.ca/>

Erişim tarihi: (23.05.2018)

Camdaki bir iyon veya diğer malzemelerin, absorpsiyon nedeniyle bir renk merkezine neden olmaları, floresan açısından da benzer davranışlar göstermeleri beklenemez. Genel olarak, güçlü floresan özelliğe sahip olan birçok iyon görünür spektrumda absorplama özelliği göstermez. Aksine, absorpsiyonları ultraviyole bölgesinde ve ışık yayılımları (emmission) görünür ışık bölgesinde gerçekleşir .

Weyl' e göre floresan ışık kaynakları; çözülmüş metalik atomlar, çökmüş kristal faz veya iyonik bileşenler olabilir. Ancak en önemli flüoresan merkezleri, camdaki iyonlardır [44]. Nadir toprak serisinin çoğu görünür floresan banta sahiptirler ancak bazıları birden fazla banta sahipler. Birden fazla görünür floresan bandının mevcut olduğu durumlarda, uygun uyarıcı (exciting wave lenght) dalga boyu kullanılarak renk kontrol edilebilmektedir [40].

Ancak Rabert Brill' e göre normal bir cama floresan etki kazandırmak için belirli faktörler bulunmaktadır. Floresan etki çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunlar temel olarak bileşende bulunan malzemeler, bileşen konsantrasyonu, uyarıcı radyasyonun dalga boyu, uyarıcı radyasyonun yoğunluğu, muhtemelen elementlerin redoks durumu ve mevcut renklendiricilerdir [45]. Camda bazı floresan renklere neden olan metaller:

U (Uranyum): Çok güçlü, parlak yeşil bir renk üretir. Görülebilir ışıkta camın kendisinin rengi genellikle parlak sarı veya sarımsı-yeşil renktir. Renk genellikle ~% 0.5 U_2O_3 eklenerek elde edilir. Eski camlar da en az birkaç ppm⁶ Uranyum içerir ancak UV ışık bu camlarda floresan özelliğe neden olmaz [46] (Bkz. Görsel 3.13).

Pb (Kurşun): Güçlü bir buzlu mavisi etkisi var, ancak normalde U kadar güçlü değildir. Floresan, hem uzun dalga hem de kısa dalga UV altında görülebilir. Genellikle yüksek kurşun camları renksizdir. Floresan renk yaklaşık % 5 seviyesinde fark edilir hale gelir ve yaklaşık % 10-15 arasında güçlüdür. Pb normalde manganez veya antimondan daha güçlü bir şekilde floresandır.

Mn (Manganez): Orta derecede güçlü bir "limonata benzeri" yeşilimsi-sarı üretir, ve genellikle biraz bulanıktır. Güçlü bir floresan değildir. Mn genellikle kolayca görülebilmesi için ~% 0.5 ağırlık seviyesini gerektirir.

Sb (Antimon): Bir mavimsi, beyazımsı genellikle zayıf bir floresandır. Diğer floresan türler veya renklendiriciler tarafından gizlenmiş olabilmektedir [45].



Görsel 3.13. *Uranyumlu cam.*

Kaynak. <http://eshrefsaati.blogspot.com.tr/2008/04/uranyum-cam.html>

Erişim tarihi: (15.05.2018)

⁶ milyonda bir (Parts per milion)

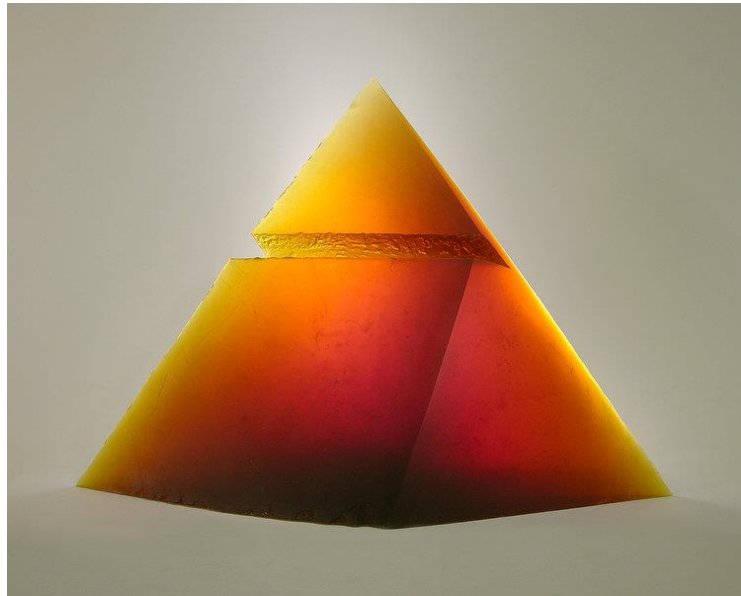
3.2.2.4. Camda fiziksel yapıya bağı renk görünümü

Piyasada bulunan renkli camlar belirli metal oksitler ile renklendirilmiştir ve bazen istenilen renkler bulunamamaktadır. Dolayısıyla birçok cam sanatçısına göre, renk kararları forma göre ikincildir veya konu diğer limitler ile ele alınır. Mevcut renkler hazır olarak alınır ve formlar bu renkleri göz önünde bulundurularak tasarlanır.

Ancak camdaki renk görünümünü renklendirici metal oksitler dışında bazı fiziksel özellikler de etkilemektedir. Bu özellikler:

- Objenin formu
- Objenin boyutu
- Objenin yüzeyi

Cam objenin şekli ve boyutu, renginin görünümü üzerinde muazzam bir etkiye sahiptir. Büyük ve küçük bir nesne için aynı renkli cam kullanılıyorsa, büyük nesne daha koyu görünecektir. Aynı nesne içinde hacimsel varyasyonlar varsa, daha ince alanlar daha açık görünür ve bazen ton olarak farklılık gösterir. Bazı sanatçılar camın bu özelliğini sanat eserlerinde estetik görünüm yaratma amaçlı olarak kullanmaktadırlar (Bkz. Görsel 3.14).



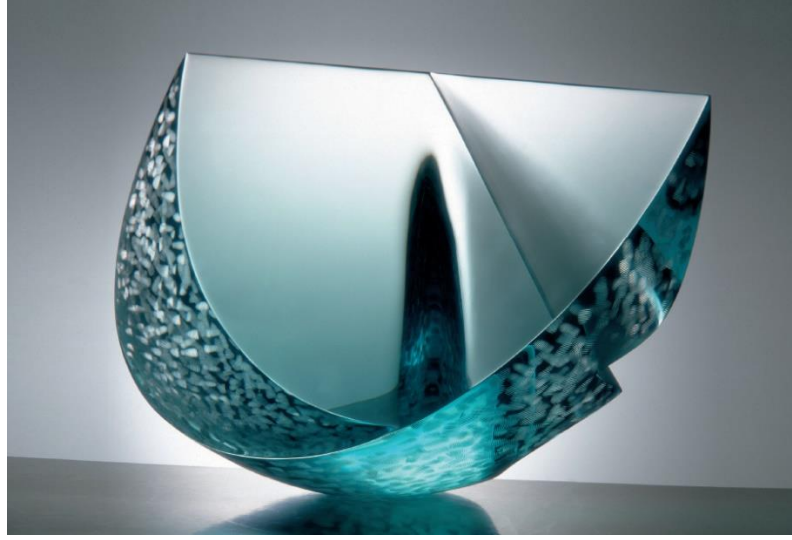
Görsel 3.14. *Libensky and Brychtova, Kırmızı Piramid, 1993- 99, 33 x 46 3/4 x 11 3/4 in.*

Kaynak. <http://www.hellergallery.com/libensk-brychtov/>

Erişim tarihi: (08.06.2018)

Görsel 3.15'deki sanat eserinde aynı renkli cam kullanılmıştır ancak camın kalınlığına göre kırmızı, turuncu ve sarı tonları görülebilir.

Cam rengini etkileyen diğer fiziksel faktör cam yüzeyinin dokusudur. Cam yüzeyindeki dokuya gelen ve dokular sonucunda kırılarak kütlelerin içine giren ışık camın rengi etkilemektedir. Bu özellik Çekoslovakya'lı cam sanatçısı Vladimir Klein'in sanat eserlerinde görülmektedir (Bkz. Görsel 3.15).



Görsel 3.15. *Vladimir Klein, Denge, 1996, 32 × 60 × 16 cm*

Kaynak: http://www.vladimirklein.cz/galerie_m.html

Erişim tarihi: (08.06.2018)

Bu tezde cam kompozisyonuna belirli miktarlarda metal oksit ilave ederek farklı renk tonlarının elde edilmesi incelenmiştir.

4. CAM RENKLENDİRME SÜRECİ VE MALZEME TESTİ

Bu araştırma üç teknik amaç için yapılmıştır: Birincisi, cam sanatçılara kontrollü bir şekilde fırında cam renklendirmeleri için bir yöntem geliştirmektir. İkincisi, belirli bir hacim için arzu edilen bir rengi elde etmek için cama ilave edilecek oksit miktarının değerlendirilmesidir. Üçüncü ve en önemlisi ise Anadolu Üniversitesi Cam Bölümünde sıcak cam fırınında kullanılan Glasma 705 camıyla uyumlu renkli cam üretmektir. Bu çalışma stüdyo ortamında, bir sanatçının yaklaşımıyla stüdyo cam sanatçıların kullanımını için gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın başarılı bir şekilde ilerlemesi sırasında, cam renklendirmek için çok önemli olan bazı faktörler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu faktörlerin en önemlisi cam kompozisyondaki metal oksitler ve ergitme sıcaklığıdır. Yapılan denemelerde, istenilen renkleri ve farklı renk tonlarının eldesi için cam harmanında farklı yüzdelerde metal oksitlerin kullanılması, ergitme sıcaklığı ve pişirim sürecinin kontrol altına alınması gerçekleştirilmiştir. Anadolu Üniversitesi Cam Atölyesinde mevcut Glasma 705 camı kullanıp yeni kompozisyonlar ve renkler elde ederek, sanatsal çalışmalarda gereken ve kullanılan renkli camlar için daha uygun maliyetle ve kolaylıkla temin edilebilmiştir. Ayrıca üretilen renkli camlar Anadolu Üniversitesi Cam Bölümünde kullanılan şeffaf camla uyumlu olacağından sanatçıya özgünlük katmada büyük katkısı olacağı düşünülmektedir. Bu çalışma ile olanakların doğrultusunda çeşitli büyüklükte renkli camlar üretilerek farklı sanatsal çalışmalar için çeşitli duyu ve düşünceleri cam malzemeye dönüştürme imkanı olacaktır. Camı renklendirmek için bir fırının 1240-1280°C sıcaklıklara erişebilmesi gerekirken, fırın içi dökümünde 1000°C üzerindeki sıcaklıklara gerek yoktur. Çalışmada Anadolu Üniversite Cam Atölyesi şartlarında 1200°C sıcaklık kapasitesine sahip fırın kullanılmıştır. Bu tez kapsamında 2 tür terazi kullanılmıştır: 0.001 gr hassasiyet ile 500 gr kapasiteli ve 0.5 gr hassasiyet ile 15 kg kapasiteli tartılar. Bazı sağlık ve güvenlik ekipmanlarının bir cam atölyesinde bulunması gereklidir, örneğin silika tozu ve alçı ile çalışırken veya cam öğütme sırasında ve malzeme tartımında kullanılacak yüksek kaliteli bir toz maskesi, eldiven ve güvenlik gözlükleri en önemli güvenlik ekipmanlarından sayılmaktadırlar.

Bir sanatçısının araştırmaları, örneğin renk ölçümü ve değerlendirmesi gibi, ağırlıklı olarak tecrübe ve deneyime dayanmaktadır. Değerlendirme esas olarak gözleme dayalıdır çünkü renk sonuçları da görsel olacaktır. Renk yoğunluğunu ölçmek için bilimsel yöntemler

vardır, ancak sanatçılar için kolay erişilebilir ya da pratik değildirler. Bu yüzden bu araştırmada atölye ortamında renkli cam üretmek ve renk yoğunluğunu değerlendirmek için bir yol bulmaya çalışılmıştır. Seramik alanında, sır testlerin atölye uygulamalarının bir parçası olduğunun tam aksine cam sanatçıları genellikle renkli camlarını Bullseye, Gaffer, Kugler gibi ticari firmalardan temin etmektedirler. Atölye ortamında renk testi yapmak için belirli bir yöntem yoktur, bu nedenle fonksiyonel bir test yöntemi geliştirilmelidir. Bu çalışmada renkli cam üretmekten ziyade, uygun bir test süreci geliştirme araştırmanın merkezinde yer almaktadır. Büyük miktarda renkli cam üretimi büyük fırınlar ile mümkündür, ancak bu çalışmada, küçük bir fırında ve 1 kilogram altında olan az miktarlarda renkli cam yapmak için bir yöntem geliştirilmiştir. Denemeler farklı renk tonları elde etmek için ve renkler yoğun renge doğru olacak şekilde geliştirilmiştir. Denemeler, mümkün olduğunca sabit yüzde aralığında yapılmıştır ancak duruma göre bazı değişikliklerin yapılması da kaçınılmaz olarak gerçekleştirilmiştir.

Sanatsal çalışmalarda kullanılan fırın camının (Glasma 705) termal genişleme katsayısı ile renkli ithal camların (ör: Bullseye) termal genişleme katsayıları üreticilerin farklı olmasından dolayı uyumlu olamayabilmektedir. Bu ve benzeri durumlarda sanatçı özgürce eser yaratmakta zorluk çekmektedir. Bu tez çalışması ile renkli cam kompozisyonlarının incelenmesi ve şeffaf fırın camıyla uyumlu olan renkli camların üretilmesi sağlanmıştır. Ayrıca ilave edilen çeşitli oranlardaki metal oksit ile renk tonu optimizasyonu yapılmıştır. Üretilen renkli camların termal genişleme katsayılarının şeffaf camın termal genişleme katsayıları ile uyumlu olup olmadığını ölçmek için Dilatometre analizi yapılmıştır.

4.1. Camda Renk Oluşumu ve Kontrolü

Cam renklendirme antik çağdan beri yapılmaktadır ancak başta yeşil ve mavi renkleri ile sınırlıydı ama günümüzde muhtemelen 14000 renk tonu kullanılmaktadır. Eski çağda bulunan renklendirici madde ailede bir sır olarak nesilden nesile taşınıyordu bu nedenle bazı renklerin (mesela altın ile yapılan kırmızı) bulduktan sonra tekrar yıllarca kaybolmasına neden oluyordu. Bir camın rengi, camın üzerine düşen ışık tayfının yansımaları, emilmesi ve geçmesi ile ilgilidir. Daha öncede detaylı olarak da anlatıldığı gibi iki çeşit cam renklendirici malzeme bulunmaktadır: İyonik (çözelti) renkler ve kolloidal renkler (parçacıklar tarafından

üretilem renkler). En yaygın renklendirici iyonlar, kobalt (Co), krom (Cr), bakır (Cu), manganez (Mn) ve demir (Fe) gibi geçiş metalleri olanlardır. En çok kullanılan cam renklendirici metallere ve elde edilebilecek renkler Tablo 4.1'de görülmektedir.

Tablo 4.1. Renklendirici metal oksitler [47]

Renk	Renklendirici	Metal Oksit
Mavi / Turkuaz	Cu ²⁺ iyonu Co ²⁺ iyonu	Cu ²⁺ +CuO Co ₃ O ₄
violet	Mn ²⁺ iyonu Ni ²⁺ tetrahedral Nd ³⁺ iyonu	Mn ₂ O ₃ NiO (Potasyum silikat camında) Nd ₂ O ₃
Yeşil	Cr ³⁺ iyonu Fe ³⁺ iyonu V ⁵⁺ iyonu	Cr ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ + Cr ₂ O ₃ + CuO V ₂ O ₃
Kahverengi	Mn ²⁺ iyonu Kompleks iyon Kompleks iyon Ni ²⁺ iyonu	MnO MnO+ Fe ₂ O ₃ MnO+CeO ₂ NiO
Sarı	Kolloidal CdS Ce ⁴⁺ +Ti ⁴⁺ Koloidal Ag U ⁶⁺ iyonu	CdS CeO ₂ + TiO ₂ AgNO ₃ + SnO ₂ UO ₃
Turuncu	Koloidal CdS: Se	
Kırmızı	Koloidal Au Koloidal Cu	AuCl + SnO ₂ CuO
Gri ve Siyah	Co ²⁺ + diğer iyonlar PbS, FeS, CoSe _x	Co ₃ O ₄ + MnO ₂ , Ni ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , CuO/Cu ₂ O ve Cr ₂ O ₃ Çeşitli sülfür ve selendiler

4.1.1. Renk oluşumuna etki eden faktörler

Camdaki renk yoğunluğu ve konsantrasyonunu etkileyen değişik faktörler vardır. Bu faktörlerin en önemlileri aşağıda bulunmaktadır:

4.1.1.1. Cam bileşiminin etkisi

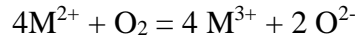
Camın içinde bulunan renklendirici oksit ve harmandaki yüzdesi elde edilen renk sonucunu etkileyen en önemli faktörlerdendir. Eğer metal oksidin yüzdesi yüksek olursa daha koyu renk tonu veya farklı bir renk üretilebilmektedir. Cam rengi, renk merkezinin niteliği kadar gelen ışığın niteliğine de bağlıdır. En güçlü nadir toprak renklendiricilerden biri neodymium floresan ışığı altında mavi ve normal güneş ışığında şarap kırmızısına kadar değişen renkler verebilmektedir. Eğer harmanda birden fazla renklendirici madde bulunursa renk kontrolü daha zor olmaktadır.

4.1.1.2. Redoks koşulların etkisi

Bazı geçiş metalleri birden fazla değerliliğe sahiptirler. Cam harmanı ile karıştırıldığında farklı renk etkileri gösterebilmektedirler. Bu metaller cam içinde çözüldüğü zaman, metalin farklı değerlerini temsil eden iyonlar arasında bir denge kurmaktadır. Camın rengi bu iyonların oranına bağlıdır. Denge oranı ise: camın eritildiği fırın atmosferindeki oksijen basıncına, eritme sıcaklığı, camın bileşimi ve harmanın içinde diğer çok değerli metallerin olup olmadığı ve yüzdesi gibi çoğu faktörlere bağlıdır.

4.1.1.3. Fırın atmosferi ve eritme sıcaklığının etkisi

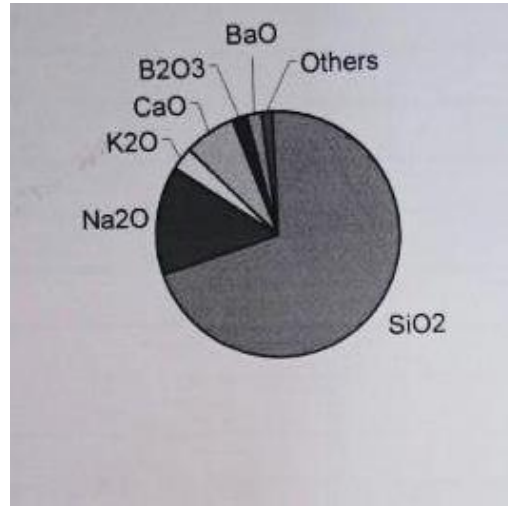
Birden fazla değerli metal oksitler cam bileşiminde farklı değerleri ile bulunabilmektedirler. Fırın atmosferindeki oksijen ve iyonlar arasında aşağıdaki denge bulunmaktadır. (M herhangi bir çok değerli veya nadir toprak metalidir)



Oksijen basıncının artması veya eritme sıcaklığının düşmesi, yüksek değerlikli iyon oranının artmasına neden olur ve böylece beklenen rengi elde edilemeyebilmektedir [48] Dolayısıyla renk eldesi sürecinde pek çok farklı etken olduğu ve bunların hepsinin kontrolünün gerektiği görülmektedir.

4.2. Kullanılan Cam Türü

Renk sonuçları farklı cam türleri ile önemli ölçüde farklılık gösterebileceğinden, tez boyunca tek bir cam türü kullanmaya karar verilmiştir. Döküm ve kalıpta şekillendirmenin yanı sıra serbest şekillendirmek için çoğunlukla kullanılan Glasma705 adlı soda-kireç-silika camı tercih edilmiştir. Anadolu Üniversitesi Cam Bölümünde kullanılan şeffaf cam ile uyumlu renkli cam üretiminin hedeflenmiştir. Ergime işlemi sırasında çıkan gazlardan dolayı gerekli rafine ve saflaştırma sistemi olmadan kabarcıklı ve kalitesiz cam elde edilmesi hedeflenmiştir bu nedenle renkli cam üretiminde hammadde kullanılması yerine atık cam tozu kullanımı tercih edilmiştir. Bu çalışmada Glasma705 soda-kireç cam atıkları öğütülüp kullanılmıştır. Glasma 705, sıcak cam atölyeler özellikle okul cam atölyeleri için özel olarak üretilen hafif baryumlu cam türüdür (Bkz. Görsel 4.1).



Görsel 4.1. Glasma 705 içeriği

4.3. Renklendiriciler

Cam renklendirme çok geniş kapsamlı olduğu için bu tez çalışması, oksitleyici atmosferde ve iyonik renklendiriciler ile sınırlandırılmıştır, çünkü koloidal renklendiricilerin özellikle bir atölye ortamında kontrol edilmesi zordur. Bu tez çalışmasında kobalt (CoO) (%73 saflıkta), bakır (CuO) (%99 saflıkta), demir (Fe₂O₃) (%60 saflıkta), manganez (MnO₂) (%60 saflıkta) ve krom (Cr₂O₃) (%97 saflıkta) oksitleri kullanılmıştır. Birkaç istisna dışında, bu oksitler ile renk denemelerinde tutarlı sonuçlar alındığı görülmüştür (Bkz. Görsel 4.2).



Görsel 4.2. Bu tez süresince kullanılan Oksitler.

4.4. Renkli Cam Üretim Süreci

Fırında renkli cam denemesi yapmak ve bir süreç geliştirmek için birçok faktör göz önüne alınmalıdır: birincisi, tez çalışması boyunca renkli cam denemelerini eritmek için kullanılan kroze malzemesi, şekli ve boyutu. İkincisi, belli bir cam eritmek için kullanılan cam ve bu miktar camın özellikleri ve fırınlama diyagramı. Üçüncüsü, erimiş camın krozelerden çıkarılma yöntemidir.

4.4.1. Malzeme ve Gereksinimler

Yapılan deneylerin temel amacı, camın renk tonunu değiştirmek, ileri testler veya sanatsal işlerin yapımı için uygun kompozisyonlarına erişmektir. Ayrıca, renk yoğunluğu konusunda temel bir fikir sahibi olunmalıdır. Örneklerde aranan temel şart renk tonunun görünürlüğüdür. İdeal olarak sonuç, farklı aydınlatma koşullarında ve beyaz arka planın önünde kolay izlenebilen transparan bir örnek olmalıdır. Mümkün olduğunca az enerji ve zaman gerektirmeden ve mantıklı olarak çoklu denemeler aynı anda, fırın ısı işlemi ile yapılmalıdır.

4.4.1.1. Kroze ve yapım yöntemi

Başlangıçta ISOLAB KROZE "Porselen" "Orta Form" - 50x40mm - 038.14.M50 (Bkz. Görsel 4.3) ve 1300°C'ye dayanıklı olan krozeler kullanılmıştır. Ancak, ince olduğu için ve muhtemelen cam eridiğinde cam ve krozenin genişleme katsayısının çok farklı olması nedeniyle 1150°C ve 1200°C'ye dayanamayıp ve fırında erimiş camın olduğu yerden çatlamaya başlamıştır ve soğuma aşamasında tamamen kırılıp parçalan.



Görsel 4.3. *Isolab Kroze "Porselen" "Orta Form" - 50x40mm - 038.14.M50*

Bu yüzden yeni seçenek aranmış ve Eczacıbaşı HÇ001-25 kodlu seramik döküm çamuruyla örnek kroze hazırlanmıştır. Bu kroze adı geçen porselen ISOLAB krozeleri boyutunda denemelerin yapılması için oluşturulmuştur. Bu kroze ilk 900 derece bisküvi pişirimine girmiştir fakat içinde cam eritildiğinde tekrar aynı ISOLAB krozelerde olduğu gibi çatlamıştır ancak ISOLAB krozelerinden daha kalın yapıldığı için daha fazla dayanıklılık göstermiş ve parçalanma daha az olmuştur. 1200°C’de yapılan denemelerde krozeler taban kısımdan bile bir kaç parçaya bölünmüştür. ISOLAB krozelerinden daha fazla dayanıklılık göstermesine rağmen, yine yeni malzeme aranmıştır çünkü bu kırılma olayı hafif de olsa camı çıkarmayı ve kullanmayı, özellikle sıcak döküm yönteminde zorlaştırmıştır. Alternatif olarak platin kroze kullanılabilir. (Bkz. Görsel 4.4). Dayanıklı ve diğer seramik krozeler gibi kullan at özelliği olmamasından dolayı, çok yüksek maliyetli, küçük kapasiteler, zor ve özel temizleme koşulları olmasından dolayı bu tip krozeler de tez çalışması için kullanılmamıştır.



Görsel 4.4. *Platin kroze*

Tezin uygulama aşamasında daha fazla miktarda cam üretileceğinden dolayı büyük boyutlu krozelerin kullanılması gerekli görülmüştür. Tekrar Eczacıbaşı HÇ001-25 kodlu seramik döküm çamuruyla farklı boyutlarda kroze hazırlanmıştır. Ancak krozeler bu defa yüksek sıcaklıkta (1160°C’de) fırınlanmıştır. Bu sıcaklıkta fırınlama krozelere oldukça yüksek dayanıklılık kazandırmıştır ve bu şekilde proje boyunca bu krozeler kullanılmıştır. Krozeler boyutlarına bağlı 3-6 mm et kalınlığında hazırlanmıştır. Büyük miktarda cam eritildiğinde camın taşması ve fırına akma durumunu önlemek için geniş çaplı krozeler hazırlanmış ve altlık olarak kullanılmıştır (Bkz. Görsel 4.5).



Görsel 4.5. *Renkli cam denemeleri için küçük boyutta seramik krozeler (solda) ve büyük miktarda renkli cam üretmek için büyük boyutlu seramik krozeler.*

Bu krozelerin dezavantajı camın krozeye yapışması ve kolay çıkarılamamasıdır. Bu denemelerde dayanıklılık ön planda ve daha fazla önem taşıdığı için bu dezavantaj gözardı

edilmiştir. Camları krozeden çıkarmak için üç yöntem uygulanmıştır. Birincisi: kalıpta şekillendirmek için alçı veya metal kalıba sıcak döküm yaparak cam kütlesi elde etmektir. Bu yöntemin dezavantajı ise camdan fazla miktarı kroze yapışıp çıkarılamamasıdır. Bu sorun fırının 1200°C üzerine çıkmaması ve camın gerektiği kadar akışkan olmaması ve hızlı katılaşmasından kaynaklanmaktadır. İkincisi, frit elde etmek için su içine sıcak döküm yapılmasıdır, ancak sanatsal işler kalıpta şekillendirme yöntemi ile yapılacağı için bu yöntem uygun bulunmamıştır. Son çözüm olarak, soğuma aşamasından sonra krozeler, içinde bulunan camlar ile birlikte alçı kalıplara ters çevrilerek tekrar 840°C’de fırınlanmış ve böylelikle kroze yapışan camların başka kalıba aktarılması ve ayrılması sağlanmıştır. Bu yöntem de krozenin kırılma ve cam içine karışma ihtimali olduğu için elenmiştir. Dolayısıyla, sanatsal işlere uygun olduğu için dezavantajını göz ardı ederek birinci yöntem, maksimum sıcaklıkta döküm, tercih edilmiştir (Bkz. Görsel 4.6).



Görsel 4.6. Sıcak cam döküm aşamaları

4.4.2. Pişirim Diyagramı

Seramik krozelerde öğütülmüş Glasma 705 kullanarak 50 gr üzerinden renk testleri yapmak için sabit bir fırın diyagramı kullanılmıştır (Bkz. Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Renkli cam üretmek için kullanılan fırınlama diyagramı

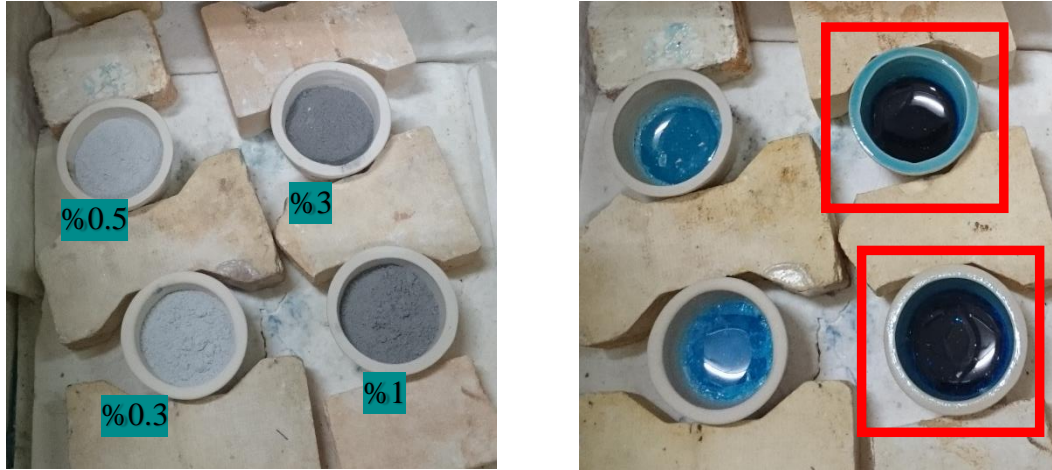
	Zaman(dk.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme (dk.)
1	180	600	30
2	180	1100/1150/1200*	300
3	180	800	5
4	30	510	300
5	60	400	30
6	20	300	30
7	120	25	End

Frit üretildiğinde veya sıcak döküm yapıldığında fırın diyagramının ilk iki aşaması yeterli bulunmaktadır. soğuma ve tavlama aynı krozede yapılacağı takdirde Tablo 4.3’de gelen diyagramın tamamı uygulanmaktadır. Bu araştırmada yeni cam yerine Glasma 705 cam atığı kullanımının tercih nedeni, atık camın erime noktasının daha düşük olması ve erime işleminin daha hızlı gerçekleşmesi ve geri dönüşüm camlarının kullanılabilmesidir. Ayrıca hammaddeden renkli cam üretimi yüksek sıcaklık kapasitesi olan fırında yapılma zorunluluğu nedeni ile tercih edilmemiştir. Bu araştırmanın koşulları gereği, kullanılabilirlik durumuna bağlı olarak, denemelerin yapılması ve ayrıca camların krozeden çıkarılması aşamasında farklı fırınlar kullanılmıştır. Denemeler Anadolu Üniversitesi Cam Bölümünde 1200°C sıcaklığa çıkan fırında yapılmıştır ve camların krozeden çıkarılması aşamasında sıcak döküm yoluyla elde edilen kütle camlar tavlama fırınında tavlammıştır. Üretilen renkli camlar sanatsal işlerin yapımında kullanılmıştır bu sanatsal işler (renkli camlar ile diğer camların ısıl işlemi ile elde edilen sanatsal camlar) en fazla 1000°C sıcaklığa çıkan fırınlarda yapılmıştır.

4.4.3. Cam Miktarı

Genellikle, bir fırında cam harmanı cam oluşturmak üzere eritileceğinde, cam harmanı aşamalı olarak şarj edilir. Yani cam kısmen eriyip, hacim olarak azaldığında, üzerine cam harmanı eklenerek eritme yapılmaktadır. Fakat, bu tez çalışmasında cam harmanı yerine cam tozu kullanıldığı ve düşük sıcaklıkta eritme yapıldığı için camda kabarcı görülebilmektedir. Ayrıca renkli cam üretmek için hammaddenin tamamı sabit diyagramla fırınlanmalıdır ve fırınlama esnasında yeniden hammadde eklenirse camda kabarcık ve devitrifikasyon oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı ve ayrıca erimiş camın fırında taşma

olasılığını azaltmak için kullanılan pota olarak, gerekli miktarda camı alacak kadar büyük kroze tercih edilmiştir. Bu sayede tekrar cam tozu ve metal oksit karışımı ilave etmeye gerek kalmamıştır. Yapılan denemelerde, kullanılan metal oksit türü ve oranına göre hammadde erime sırasında hacim olarak iki katından fazlaya çıkabilmektedir. Bu olay, ergitme sırasında gazların bileşimden uzaklaşmasıyla meydana gelmektedir. Bu durum çoğunlukla hammadde tane boyutuna ve miktarına bağlıdır; ince taneler, iri tanelerden hacim olarak daha az genişir. Örneğin, manganez dioksit (MnO_2) veya bakır oksit (CuO) fazla yüzdelerde kullanıldığında erime sırasında taşmaya neden olmaktadır. Bu taşma olayını önlemek için cam harmanını miktarına bağlı birkaç saat boyunca $400-500^{\circ}C$ 'de ısıtıp ve oda sıcaklığına kadar soğutulması ve ardından bu harmanın fırınlanması gerekmektedir. Bu işlemin yapılması ile cam tozunda bulunan kristal suların da atılması sağlanır ve camın ergime sırasında taşma olasılığı bertaraf edilir. 50 gr üzerinden yapılan denemeler küçük miktarda olup taşma olasılığı düşük olduğu için krozeler de yaklaşık 1-2 cm boşluk bırakılıyor ama 1kg üzerinde üretildiğinde yaklaşık krozenin yarısına kadar cam bileşiminden doldurulabilmektedir. Ortaya çıkan cam ise hacim olarak cam tozunun yaklaşık üçte ikisi olmaktadır. Görsel 4.7'de metal oksit oranının artmasıyla taşma olayının artması görülmektedir .



Görsel 4.7. 1150°C'de üretilen bakır oksit içerikli camlar ve meydana gelen taşma olayı

4.4.4. Dilatometre analizi

Dilatometre analizi, numunenin sıcaklığın ya da zamanın bir fonksiyonu olarak boyut değişimini ölçmektedir. Bu teknik malzemelerin doğrusal genişleme katsayılarının saptanmasında kullanılmaktadır [49]. Bu araştırmada, dilatometre analizi camların genişleme katsayılarını ölçmek için gerçekleştirilmiştir. Bunun için analizleri yapılması gereken camlardan 5×5×35 mm cam çubukları hazırlanmaktadır (Bkz. Görsel 4.8). Camın genişleme katsayısı camın bileşimi ile ilgili olduğu için ve camların üretildiği sıcaklık değişikliğinin analiz sonucunda bir etkisi olmadığı için tüm analiz çubukları 1150°C’de üretilen numunelerden hazırlanmıştır. Analiz çubukları en düşük (%0.1), en yüksek (%3) ve orta (%1) oranında metal oksit içeren cam kompozisyonundan hazırlanmıştır. Analiz sonuçları ile üretilen renkli camların Glasma 705 camıyla uyumlu olup olmadığını belirlemektedir.



Görsel 4.8. Dilatometre analizi için hazırlanan çubuk örnekleri

4.4.5. Renk denemeleri

Bu araştırmada, cam rengi ve kalitesi üzerine sıcaklık etkisini araştırma ve gözlemlemekle istenilen kalite ve renkte cam üretmek için çeşitli denemeler yapılmıştır. Düşük sıcaklığa çıkan fırın içerisinde seramik potalar ve renklendirici metal oksitler kullanarak bir atölye ortamında homojen ve transparan renkler üretmek için teknikler geliştirilmiştir. Yapılan renk denemelerinde birçok faktör göz önüne alınmıştır. Bunların en önemlileri: Birincisi; daha önce bahis edildiği gibi pota; şekil, boyut, malzeme ve üretim metodu, ikincisi; sıcaklık ve üçüncüsü; cam miktarıdır. Denemeler renk yoğunluğuna ilişkin temel bir bilgi vermektedir ve böylelikle oksitlerin miktarına karar verilmiştir. Bu denemelerin temel amacı, daha ileri test veya sanatsal uygulamalarda kullanılacak renkli

camlar için uygun kompozisyonların seçimidir. Denemelerin hedefi, farklı aydınlatma koşullarında görülebilen saydam bir cam olacak şekilde planlanmıştır.

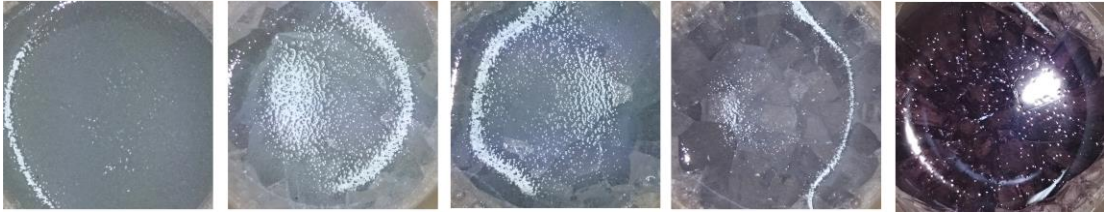
Önce Glasma 705 atık camı Pulverisette 9 öğütme cihazında $d(0.5):18.5 \mu\text{m}$ boyutunda öğütülmüştür. Daha sonra mikron boyutunda olan metal oksitler toz haline gelmiş cama eklenip ve homojen bir şekilde karışmaları için bir kapalı kaptaki 1 dakika karıştırılmıştır. Daha önce de bildiği gibi denemeler 50 g üzerinden yapılmıştır. Tez çalışması boyunca cam renklendirmek için tek metal oksit veya iki metal oksidin karışımı kullanılmıştır. Denemelerde, manganez dioksit (MnO_2), krom oksit (Cr_2O_3), bakır oksit (CuO), kobalt oksit (CoO) gibi metal oksitler kullanılmıştır. Denemelerde bu metal oksitler %0.1, %0.3, %0.5, %1 ve %3 oranlarında kullanılarak hazırlanıp ve daha önce bahis edildiği gibi aynı diyagramla fakat farklı maksimum sıcaklıkla (1100°C , 1150°C , 1200°C) eritme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kompozisyondaki metal oksit oranında yapılan değişiklik ile camın genleşme katsayısının değişip değişmediği incelenmiştir. Farklı maksimum sıcaklıkları ise, sıcaklığın camdaki renk değişimi ve saydamlığına olan etkisini araştırmak amacıyla uygulanmıştır.

4.4.5.1. Mor cam

Tez çalışması denemeleri ilk olarak manganez dioksit (MnO_2) ile başlamıştır. Manganez (IV) dioksit (MnO_2) yıllarca camların üretiminde renklendirici, oksitleyici ve rafine edici olarak kullanılmıştır.[50] Manganez (IV) dioksit (MnO_2), kahverenginden mora dönük renkli cam üretmek için hem oksidasyon hem de redüksiyon ortamında kullanışlı bir metal oksit sayılmaktadır. Ayrıca antik Roma'da menekşe rengi yapmak için kullanılmaktaydı. [51] Manganez (IV) dioksit (MnO_2), bazı camların üretiminde demirin(Fe) renklendirici etkisini nötrleştirmek için veya renk giderici olarak kullanılmaktadır. [52] Camda manganez (IV) dioksit oranının artmasıyla pembeden kahvemsi mor rengine dönüşen renk oluşumu gözlemlenmiştir.

Bu araştırmada, manganez (IV) dioksit (MnO_2) hem tek başına ve hem kobalt oksit (CoO) karışımıyla (Okuyunuz. 4.4.5.3 Morumsu mavi cam) mor rengi tonları üretiminde kullanılmıştır. Manganez (IV) dioksit (MnO_2) içerikli seride (Bkz. Görsel 4.9-Görsel 4.11) renklendirici yüzdesinin artmasıyla renk tonu koyulaşmıştır. En uygun renk 1150°C 'de elde

edilmiştir. 1100°C’de camda istenilen transparanlığa ulaşılmamıştır ve camlarda kısmi opaklık görülmektedir. 1200°C’de üretilen camlar ise 1150°C’de üretilen camlarla karşılaştırıldığında daha açık renkte oldukları fark edilmektedir. Dolayısıyla sıcaklığın artması mangan dioksit içerikli camlarda renk kaybına neden olmaktadır. Ayrıca mangan dioksit (MnO_2) zayıf bir renklendiricidir ve yüksek oranda kullanıldığı takdirde camın taşmasına neden olmaktadır bu yüzden sonraki denemelerde kobalt oksit (CoO) karışımıyla kullanılmıştır. Sadece mangan dioksit (MnO_2) kullanılan üç mor seride olan ortak nokta , renk oluşumunun %1 üzerinde olmasıdır. Başka bir deyişle, mangan dioksit ile mor renkli cam üretiminde %1’in altında renk oluşumuna rastlanmamıştır.



Görsel 4.9. 1100° C’de mangan(IV) dioksit (MnO_2) kullanarak üretilen mor camlar. Sırayla soldan: %0.1, %0.3, %0.5, %1 ve %3.



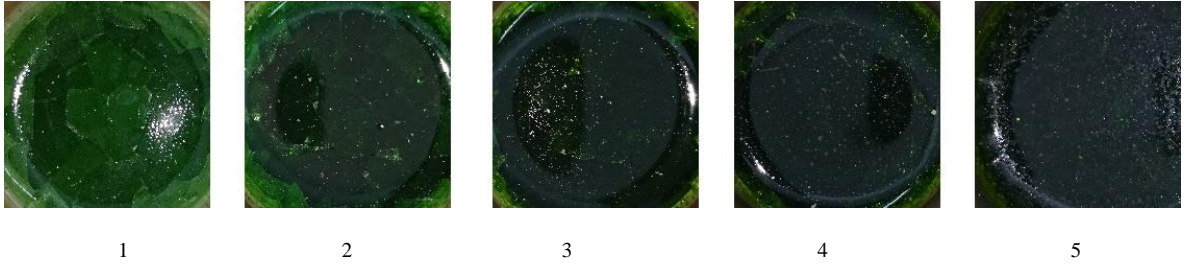
Görsel 4.10. 1150°C’de mangan(IV) dioksit (MnO_2) kullanarak üretilen mor camlar. Sırayla soldan: %0.1, %0.3, %0.5, %1 ve %3.



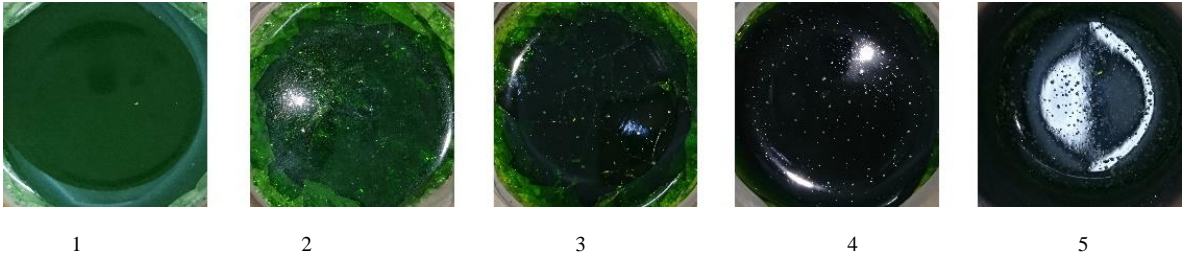
Görsel 4.11. 1200°C’de mangan (IV) dioksit (MnO_2) kullanarak üretilen mor camlar. Sırayla soldan: %0.1, %0.3, %0.5, %1 ve %3.

4.4.5.2. Yeşil cam

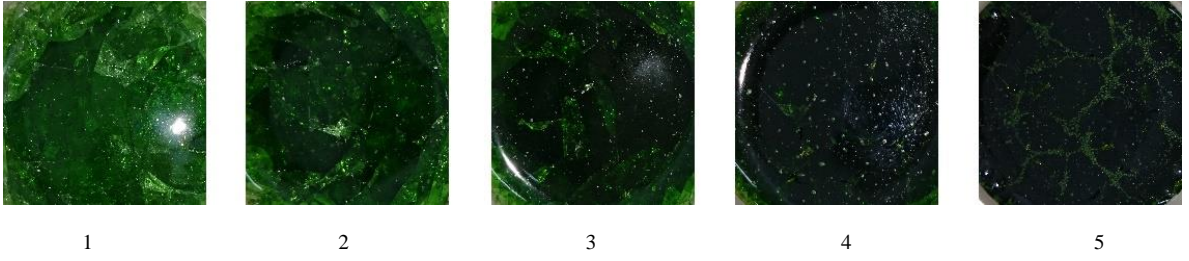
Görsel 4.12 – Görsel 4.14 denemelerinde yeşil renkli cam üretmek için Krom(III) oksit: %0.1, %0.3, %0.5, %1 ve %3 oranlarında kullanılmıştır. Yeşil cam üretmek için renklendirici olarak sadece krom (III) oksit kullanıldığında, krom(III) oksit miktarı genelde %2 altında kullanılmaktadır. Krom oksit camda kolay çözünür değildir ve siyah lekeler oluşumu eğilimindedir [53]. Krom (III) oksit (Cr_2O_3), yüksek erime sıcaklığı (yaklaşık $2300^{\circ}C$) ve oksidasyon direnci nedeniyle önemli bir refrakter malzemedir. Ancak sinterlenebilirliği çok zayıftır ve yüksek yoğunluk sağlamak için özel sinterleme koşulları gerektirmektedir[54].



Görsel 4.12. $1100^{\circ}C$ 'de krom(III)oksit (Cr_2O_3)kullanarak üretilen yeşil camlar. Sırayla soldan: **1:** %0.1, **2:** %0.3, **3:** %0.5, **4:** %1 ve **5:** %3.



Görsel 4.13. $1150^{\circ}C$ 'de krom(III)oksit (Cr_2O_3) kullanarak üretilen yeşil camlar. Sırayla soldan : **1:** %0.1, **2:** %0.3, **3:** %0.5, **4:** %1 ve **5:** %3.



Görsel 4.14. 1100°C’de krom(III)oksit (Cr_2O_3) kullanarak üretilen yeşil camlar. Sırayla soldan : 1: %0.1, 2: %0.3, 3: %0.5, 4: %1 ve 5: %3.

Krom oksit çok miktarda eritilmiş cam içinde kullanılırsa, Cr_2O_3 kristallerin oluşturmasıyla aventurin⁷ camının üretimi için kullanılmaktadır. (Bkz. Görsel 4.15).



Görsel 4.15. Aventurin cam, Murano 1875, Rossella Junck koleksiyonu, saplı kavanoz [55].

Yeşil cam denemelerinin görsellerinde görüldüğü gibi renklendirici yüzdesinin artmasıyla renk tonu koyulaşmıştır ve %0.3 üzerinde camda topaklanmalar meydana gelmiştir. Dolayısıyla bu çalışma koşulları altında, yeşil cam üretmek için renklendirici olarak krom(III) oksit kullanıldığında, krom(III) oksit miktarı %0,3 altında olmalıdır.

⁷ Aventurine cam, camı eriterek kalıba dökme esnasında cama çok miktarda bakır veya krom ilavesi ile elde edilir. Normalde cam yeşil veya mavi renk alması gerekirken, bakır veya krom kristalleri oluşarak çekici, ışıldayan ve parlıtlı bir cam ortaya çıkar. 27. Cummings, K., *Çağdaş cam sanatı*. 2009, İzmir: Karakalem Kitabevi 208.

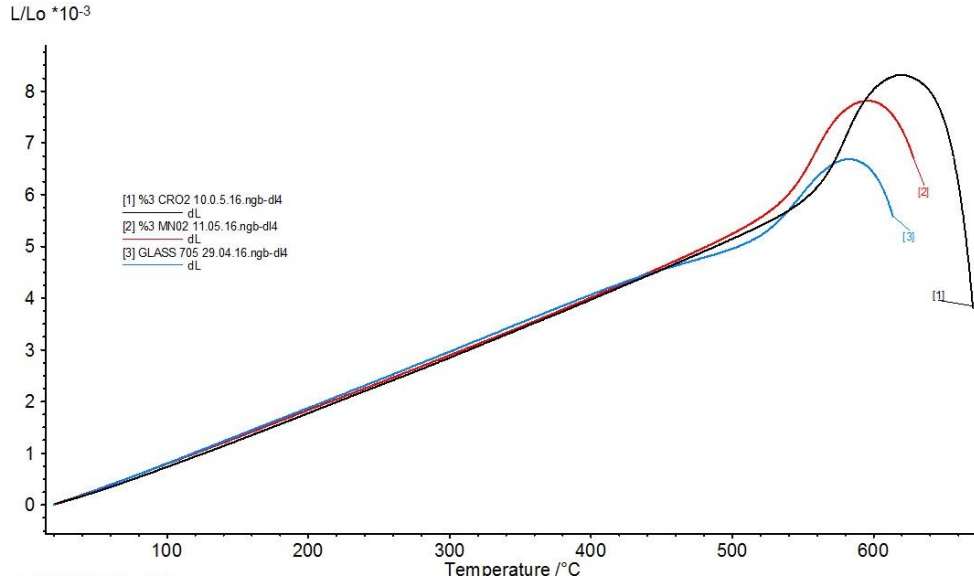
Çalışmada kullanılan fırın 1200°C üzeri sıcaklıklara erişemediği için tüm denemeler 1100°C, 1150°C ve 1200°C'de yapılmıştır. Krom oksidin ergime noktası yüksek olduğundan 1200°C üzeri sıcaklıklarda yüksek yüzde kullanımında daha az toplaklanma olacağı düşünülmektedir.

4.12 - 4.14 Görsellerde görüldüğü gibi %0.3 üzeri numunelerde toplaklanma ve kristalleşme görülmektedir. %1 ve %3 numunelerde aventurine camda olduğu gibi hem krozede hem de cam içinde krom kristallerin oluşumunu görülmektedir. Ayrıca sıcaklık ve krom oranının artmasıyla kristallerin çoğalması ve büyümesi gözlemlenmiştir. Bu üç seride, kristallerin oluşumuna 1150°C'de eritilen ve %3 oranında metal oksit ilaveli olan numunede tespit edilmiştir (Bkz. Görsel 4.16). En saydam ve en az topaklanan numuneler 1200°C'de eritilen ve %0.3 ve altında metal oksit ilaveli olan cam kompozisyonudur.



Görsel 4.16. 1150°C'de ve %3 numunede oluşan kristaller.

Yapılan dilatometre analizleri üretilen mor ve yeşil renkli camların genleşme katsayılarının birbiriyle ve Glasma 705 camıyla uyumlu olduğunu belirtmektedir (Bkz. Görsel 4.17).



Görsel 4.17. Krom içerikli yeşil cam, Manganese içerikli mor cam ve Glasma 705 dilatometre analiz sonucu

Cam bileşimine farklı metal oksitler karışımının ilavesi ile çeşitli renklerde camlar elde edilebilmektedir. Yeşil cam serilerin devamında, farklı yeşil tonları üretmek için krom (Cr_2O_3) içerikli yeşili cam kompozisyonuna bakır(II) oksit (CuO) ve demir(III) oksit (Fe_2O_3) ilave edilmiştir. Üretilen renkli camların termal özelliklerinin gözlenmesi ve ısıl genişleme katsayısı incelenmesinin amaçlandığı için geniş yelpazede yeşil renk tonlarının elde edilmesi ikinci plana bırakılmıştır ve sadece 6 farklı tonda yeşil cam üretilmiştir. Tüm denemelerde, farklı yeşil tonları elde etmek için sabit renklendirici olarak kullanılan Krom(III) oksit (Cr_2O_3) içerikli cam kompozisyonlarına bakır(II) oksit (CuO) ve demir(III) oksit (Fe_2O_3) ilave edilmiştir.

Öğütülmüş soda-kireç-silika camına 0.1%, 0.3% ve 2.5% oranında krom(III) oksit (Cr_2O_3) ve aynı oranlarda bakır(II) oksit (CuO) ilave ederek mavimsi yeşil transparan cam elde edilmiştir. Sarımsı yeşil cam elde etmek için öğütülmüş soda-kireç-silika camına aynı oranlarda (0.1%, 0.3% ve 2.5%) krom (III) oksit (Cr_2O_3) ve demir (III) oksit (Fe_2O_3) ilave edilmiştir (Bkz. Görsel 3.16).



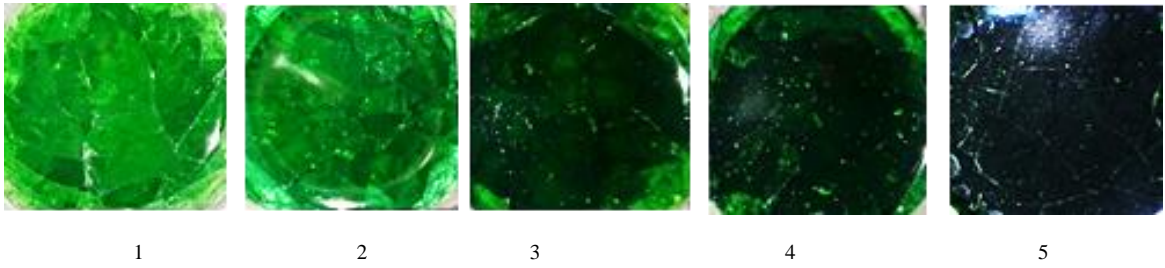
Görsel 4.18. Üretilen sarımsı ve mavimsi yeşil camlar. **1,2:** 0.1%, 2.5% bakır ilaveli mavimsi yeşil denemeler. **3,4:** 0.1%, 2.5% demir ilaveli sarımsı yeşil denemeler

Renkli camlar küçük miktarda (50g) üretildikleri için yukarıda belirtilen renk farklılıkları LAB gibi renk analizleri ile daha iyi fark edilebilmektedir. Fırınlama işlemi için aynı diyagram ama farklı maksimum sıcaklıklar uygulanmıştır (Bkz. Tablo 4.3).

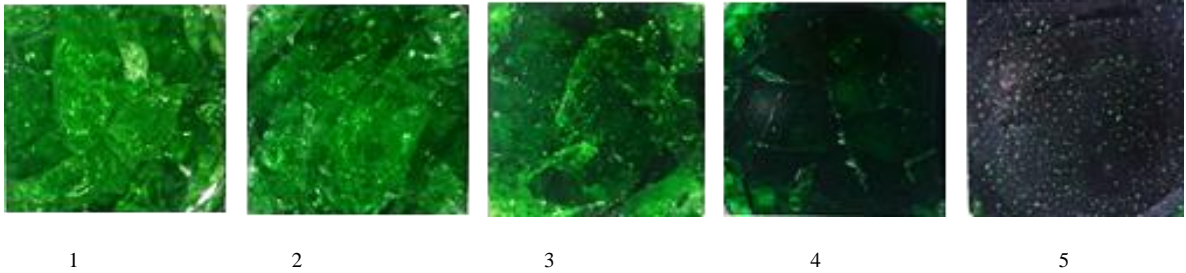
Tablo 4.3. İki farklı renklendirici ile cam renklendirmek için kullanılan fırınlama diyagramı

	Zaman (dk.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme süresi (dk.)
1	180	600	30
2	180	1150/1175/1200	300
3	180	800	5
4	30	510	300
5	60	400	30
6	20	300	30
7	120	25	0

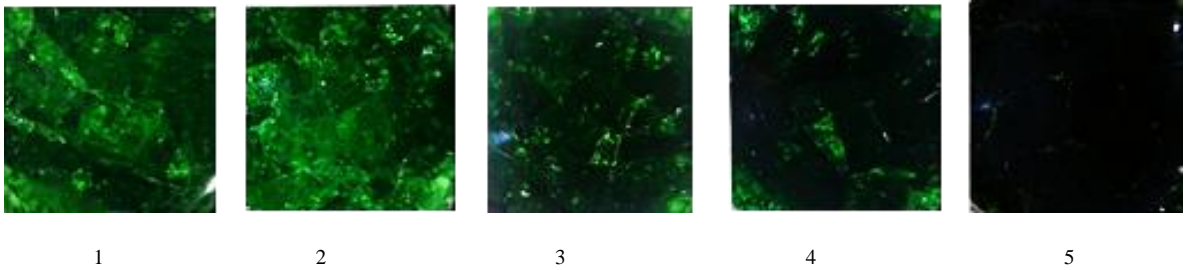
Eritme sırasında ergitilmiş kompozisyonların kabarmasını önlemek için fırın sıcaklığı, yavaş ve kademeli olarak 1150 ° C (Bkz. Görsel 4.19), 1175 ° C (Bkz. Görsel 4.20) ve 1200 ° C (Bkz. Görsel 4.21) sıcaklıklara yükseltilmiştir. Camın tamamen homojen olması için 300 dakika maksimum sıcaklıkta bekletilmiştir. Daha sonra cam numuneleri 510°C'de tavlayıp ve sonrasında oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Krom serisi sonuçlarına göre 1100° C'de yapılan denemelerde sıcaklık yetmediği için hafif opaklaşma olmuştur bu yüzden bu seri denemeler 1150°C'den başlatılmıştır.



Görsel 4.19. 1150 °C'de üretilen camlar; 1: %0.1 Cr_2O_3 + %0.1 Fe_2O_3 , 2: %0.1 Cr_2O_3 + %0.1CuO, 3: %0.3 Cr_2O_3 + %0.3 Fe_2O_3 , 4: %0.3 Cr_2O_3 + %0.3CuO, 5: %2.5% Cr_2O_3 + %2.5 CuO



Görsel 4.20. 1175 °C'de üretilen camlar; 1: 0.1% Cr_2O_3 + 0.1% Fe_2O_3 , 2: 0.1% Cr_2O_3 + 0.1% CuO, 3: 0.3% Cr_2O_3 + 0.3 Fe_2O_3 , 4: 0.3% Cr_2O_3 + 0.3% CuO, 5: 2.5% Cr_2O_3 + 2.5% CuO



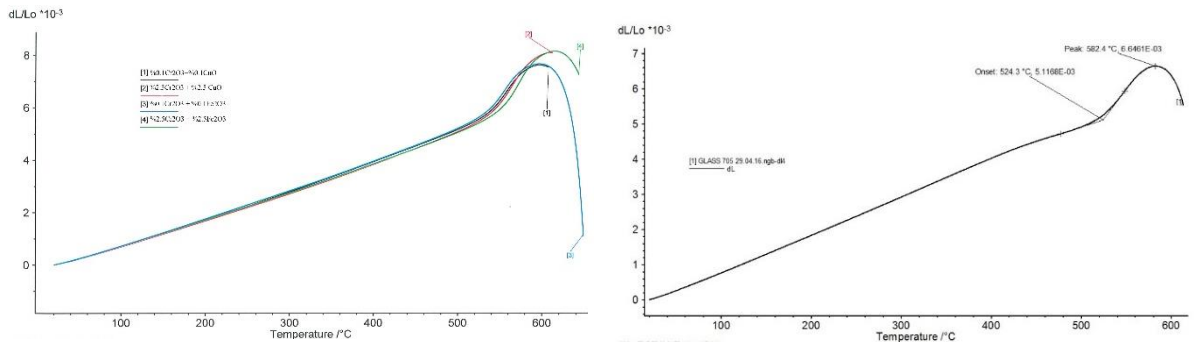
Görsel 4.21. 1200 °C'de üretilen camlar; 1: 0.1% Cr_2O_3 + 0.1% Fe_2O_3 , 2: 0.1% Cr_2O_3 + 0.1% CuO, 3: 0.3% Cr_2O_3 + 0.3 Fe_2O_3 , 4: 0.3% Cr_2O_3 + 0.3% CuO, 5: 2.5% Cr_2O_3 + 2.5% Fe_2O_3

CuO'nun erime sıcaklığı (1326 °C) Fe₂O₃'den (1565 °C) daha düşük olduğu için 2.5 yüzdelinde bakırlı kompozisyonlar düşük sıcaklıklarda (1150°C ve 1175°C'de) ve demirli kompozisyonlar ise yüksek sıcaklıkta (1200°C'de) ergitilmiştir.

Görsellerde görüldüğü gibi renklendirici yüzdelerin artmasıyla renk tonu koyulaşmıştır ve daha önce de belirtildiği gibi Cr₂O₃ miktarı 0.3% üzerinde olan numunelerde kristalleşmeler ve topaklanmalar meydana gelmiştir (Bkz. Görsel 4.19 – Görsel 4.21 : 3,4,5 numuneler). Dolayısıyla sonuçlara göre bu araştırma koşulları altında krom(III) oksit farklı metal oksit karışımlarıyla da yeşil cam üretmek için kullanıldığında, %0.3 altında kullanılmalıdır.

Üretilen camlardan en küçük ve en büyük yüzdeli bakır ve krom içeren (0.1% Cr₂O₃ + 0.1% CuO, 2.5% Cr₂O₃ + 2.5% CuO) ve en küçük ve en büyük yüzdeli demir ve krom içeren (0.1% Cr₂O₃ + 0.1% Fe₂O₃, 2.5% Cr₂O₃ + 2.5% Fe₂O₃) renkli camların dilatometre analizi yapılmıştır.

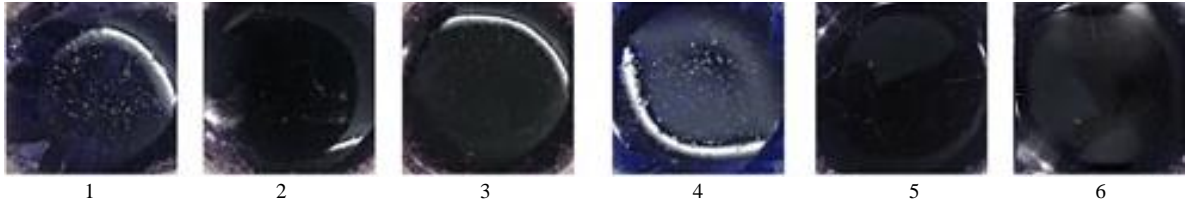
Fe₂O₃'ün ergime, değişim ve yumuşama sıcaklığı CuO'dan daha yüksek olmasına rağmen dilatometre analiz sonuçları, bu farklı renklerde olan numunelerin ve Glasma 705 camı ile benzer ısıl genişleme katsayıları olduğunu ortaya koymaktadır. Bir başka deyişle, şeffaf cama ilave edilen renklendirici oksitlerin camın ısıl genişleme katsayısında değişiklik yapmadığını ve renkli ve şeffaf camın uyumlu olduğunu kanıtlamıştır (Bkz. Görsel 4.22). Böylece bu renkli cam bileşimlerini kullanarak sanatsal eserler üretilebilmektedir.



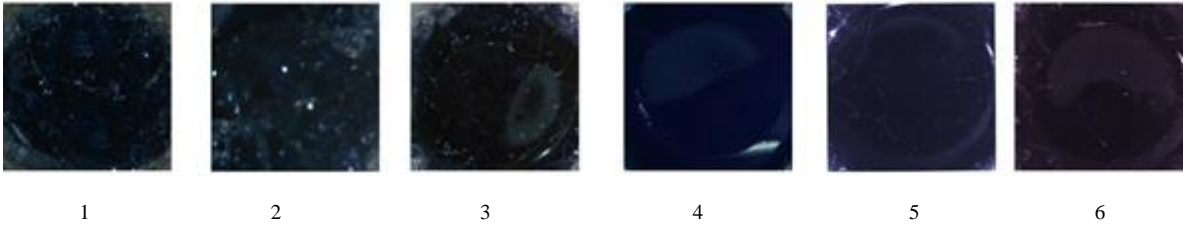
Görsel 4.22. Demir oksit ve bakır oksit ilaveli kromlu camların ve Glasma camının dilatometre analiz sonucu

4.4.5.3. Morumsu mavi cam

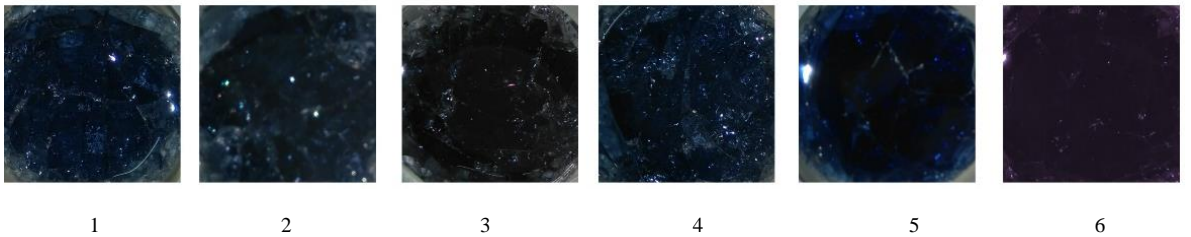
Manganez dioksit mor renkli cam üretiminde kullanıldıktan sonra çalışmaya yenilik ve çeşitlilik katmak için morumsu mavi renkli cam üretilmeye çalışıldı. Yapılan denemelerde atık şeffaf cam toz haline getirildikten sonra farklı yüzdelerde manganez dioksit ve kobalt oksit karışımı cam tozuna ilave edilerek istenilen sonuçlar elde edilmiştir. Hazırlanan renkli cam harmanı aynı diyagramla fakat farklı maksimum sıcaklıkta eritilmiştir. Sonuçlar aşağıdaki görsellerde sunulmuştur (Bkz. Görsel 4.23- 4.25).



Görsel 4.23. 1100°C'de kobalt oksit ve manganez dioksit kullanarak üretilen morumsu mavi camlar. Sırayla soldan: **1:** %0.002 CoO+%3MnO₂, **2:** %0.002CoO+%5 MnO₂, **3:** %0.002CoO+%7 MnO₂, **4:** %0.006 CoO+%3 MnO₂, **5:** %0.006 CoO+%5 MnO₂, **6:** %0.006CoO+%7 MnO₂.



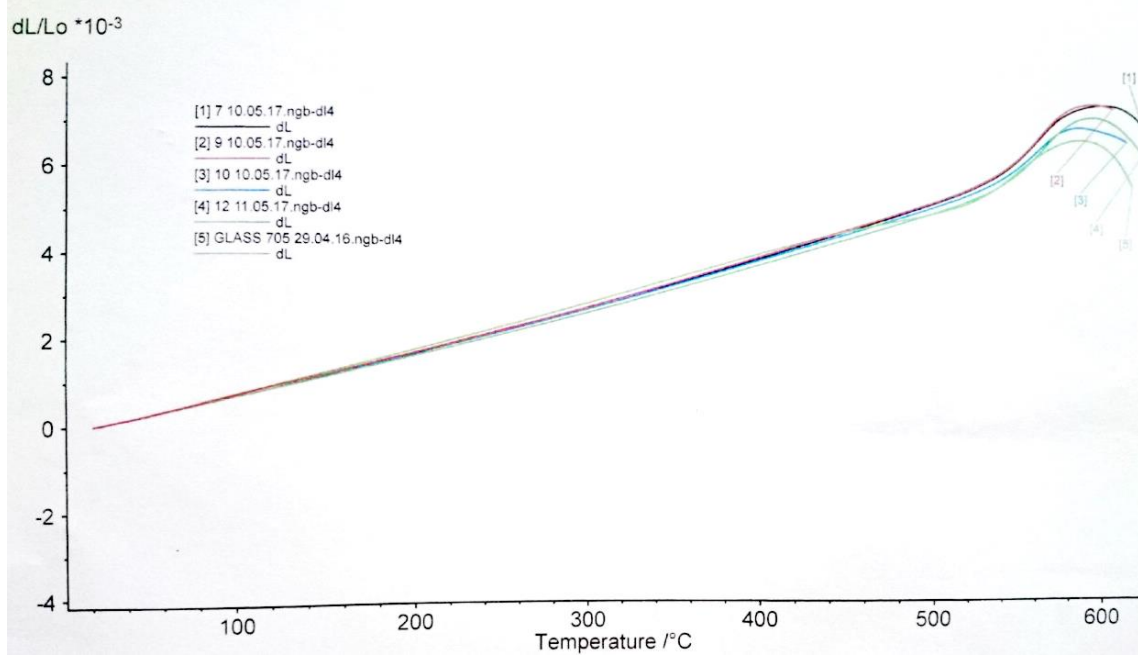
Görsel 4.24. 1150°C'de kobalt oksit ve manganez dioksit kullanarak üretilen morumsu mavi camlar: Sırayla soldan: **1:** %0.002 CoO+%3MnO₂, **2:** %0.002CoO+%5 MnO₂, **3:** %0.002CoO+%7 MnO₂, **4:** %0.006 CoO+%3 MnO₂, **5:** %0.006 CoO+%5 MnO₂, **6:** %0.006CoO+%7 MnO₂.



Görsel 4.25. 1200°C'de kobalt oksit ve manganez dioksit kullanarak üretilen morumsu mavi camlar: Sırayla soldan: **1:** %0.002 CoO+%3MnO₂, **2:** %0.002CoO+%5 MnO₂, **3:** %0.002CoO+%7 MnO₂, **4:** %0.006 CoO+%3 MnO₂, **5:** %0.006 CoO+%5 MnO₂, **6:** %0.006CoO+%7 MnO₂.

Yukarıda gelen fotoğraflarda görüldüğü ve diğer denemelerde olduğu gibi renklendirici yüzdesinin artmasıyla renk tonu koyulaşmıştır. Ayrıca kobalt oksit çok baskın ve güçlü bir renklendirici olduğundan dolayı kompozisyonda çok düşük oranda (%0.1 altında) kullanılmıştır. Bu nedenle manganez (IV) dioksit oranı düşük olan denemelerde kobalt oksit az miktarda kullanılsa bile koyu renk oluşturduğu için manganez (IV) dioksidin oluşturduğu mor rengin kaybolmasına neden olmaktadır. Bu sonuçlara göre morumsu mavi cam üretmek için manganez (IV) diokist miktarı %5 üzerinde olmalıdır çünkü kompozisyonda manganez (IV) dioksit bulunmasına rağmen düşük oranda kullanıldığı için sadece lacivert renkte cam elde edilecektir. Bu olay 1200°C'de fırınlanan numunelerde daha çok farkedilmektedir çünkü önceki denemelere göre manganez içerikli mor renkli camlar 1200°C'de fırınlandığında renk kaybına uğrayıp, daha açık mor cam elde edilmektedir. Sıcaklığın artmasıyla saydamlığın arttığı ve kabarcıkların azaldığı da görülmektedir.

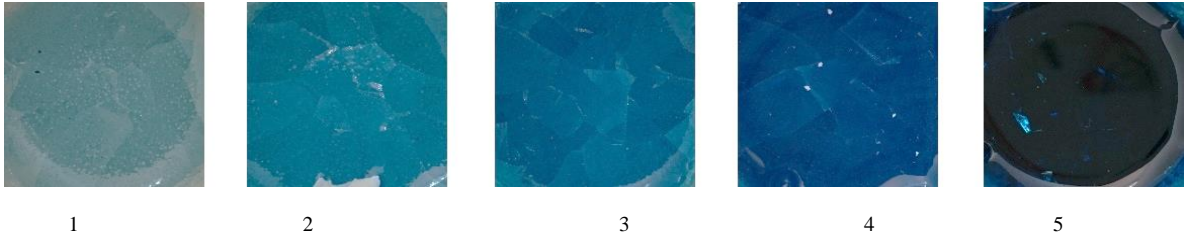
CoO, MnO₂ ve bu metal oksitlerin karışımı şeffaf cama (Glasma 705 şeffaf camı), ilave edildiğinde ısıl genleşme katsayısında önemli fark görülmemektedir (Bkz. Görsel 4.26).



Görsel 4.26. Dilatometre analizi, Glasma 705(5), %0.001 CoO + %3 MnO(1), %0.001 CoO + %7 MnO(2), %0.006 CoO + %3 MnO(3), %0.006 CoO + %7 MnO(4).

4.4.5.4. Turkuaz cam

Bu seri, bakır(II) oksit (CuO) kullanarak ve diğer tek renklendirici oksit içeren serilerde olduğu gibi %0.1, %0.3, %0.5, %1 ve %3 oranlarında üç farklı sıcaklıkta (1100°C, 1150°C ve 1200°C) yapılmıştır (Bkz. Görsel 4.27- 4.29). Bakır oksit (CuO, Cu₂O) güçlü bir renklendiricidir. Genellikle yeşil tonlarda camlar üretmek için kullanılmaktadır. Alkali camlara turkuaz mavisi ve kurşunlu camlara yeşil rengi vermektedir. Redüksiyon ortamında, bakır oksit kullanarak koyu kırmızılar elde edilmektedir. Kadmiyum-selenyum kırmızılarında önce bakır ve altın, kırmızı cam üretimi için en yaygın renklendiriciler olarak kullanılmaktaydı. Ayrıca, bakır oksit aventurin camlar üretiminde de kullanılmaktadır [53]. Manganez dioksitte olduğu gibi bu seride de yüksek yüzdelerde (%1 üzerinde) taşma olmuştur. Ancak bu taşma olayı 1150°C'de ve 1200°C'de meydana gelmiştir, 1100°C'de üretilen denemelerde sadece %3 metal oksit içeren numunede ve hafif kroze kenarlarına kadar çıkmıştır. Camın taşmamasının sebebi 1100°C'de rengin gelişmemesi olduğu düşünülmektedir, çünkü bu sıcaklıkta üretilen numuneler yarı saydam ve bol kabarcıklıdır. Sıcaklığın artmasıyla camın saydamlığının belirgin bir şekilde artması ve kabarcıkların azalması gözlemlenmiştir.



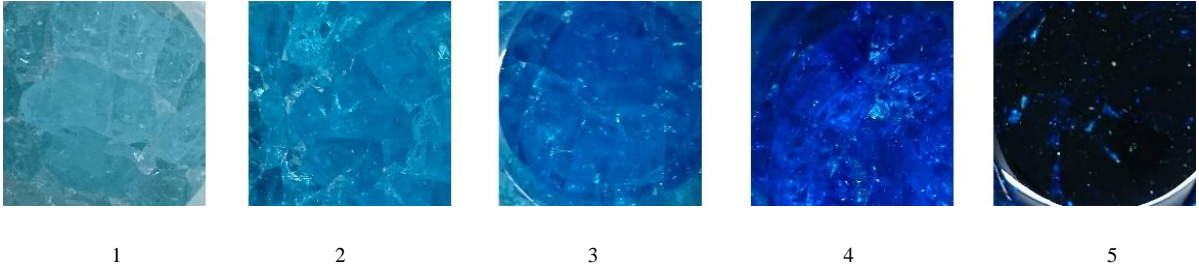
Görsel 4.27. 1100°C'de bakır(II) oksit (CuO) kullanarak üretilen turkuaz camlar.

Sırayla soldan: 1: %0.1, 2: %0.3, 3: %0.5, 4: %1, 5: %3



Görsel 4.28. 1150°C'de Bakır(II) oksit (CuO) kullanarak üretilen turkuaz camlar.

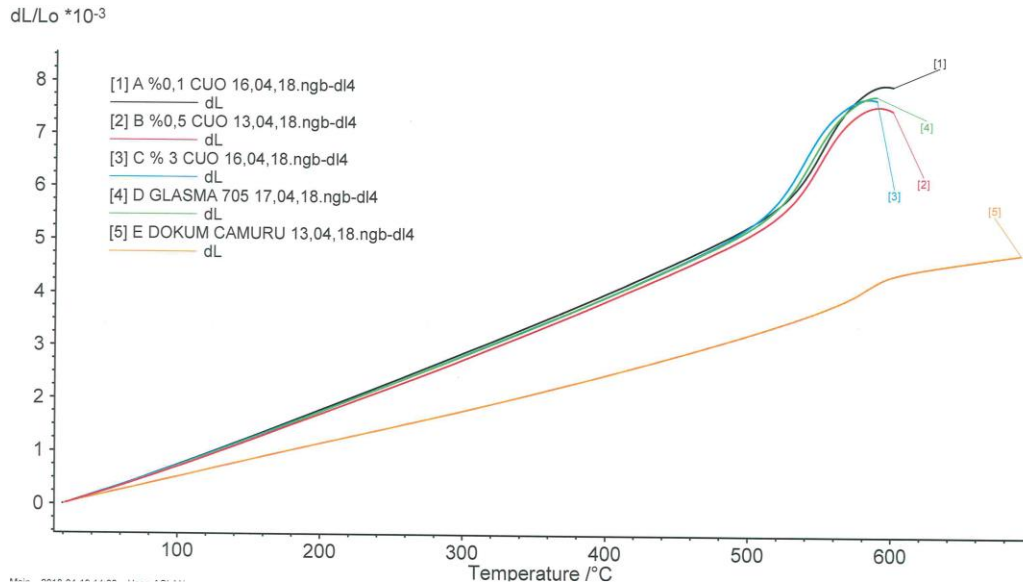
Sırayla soldan: 1: %0.1, 2: %0.3, 3: %0.5, 4: %1, 5: %3



Görsel 4.29. 1200°C'de Bakır(II) oksit (CuO) kullanarak üretilen turkuaz camlar.

Sırayla soldan: 1: %0.1, 2: %0.3, 3: %0.5, 4: %1, 5: %3

Turkuaz seri denemeleri ve Glasma 705 camı ve döküm çamuruyla karşılaştırılmalı dilatometre analizi aşağıda sunulmuştur (Bkz. Görsel 4.30). Bu analizler Glasma 705 camının turkuaz seri denemeleri ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Ayrıca aynı zamanda kroze malzemesi olan Eczacıbaşı HÇ001-25 kodlu döküm çamurunun dilatometre analizi yapılmıştır. Bu analizlerde, Glasma 705 camının ısıl genleşme katsayısı Eczacıbaşı HÇ001-25 kodlu çamurundan yapılan seramik krozenin ısıl genleşme katsayısından farklı olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla bu tez kapsamında üretilen ve Glasma 705 ile uyumlu olan tüm renkli camların ısıl genleşme katsayıları seramik krozenin ısıl genleşme katsayısı ile uyumsuz oldukları saptanmıştır.



Görsel 4.30. Turkuaz serisi, Glasma 705 ve döküm çamuru(kroze materyalı) Dilatometre analizlerin karşılaştırması

4.4.5.5. Lacivert cam

Lacivert serisi kobalt(II) oksit kullanılarak üretilmiştir. Renklendirici oksitlerin en güçlüsü olan kobalt oksit mavi tonları üretiminde kullanılmaktadır. %0.5 gibi çok küçük miktarlarda bile koyu bir mavi üretilmektedir. Genellikle demir oksit veya manganez dioksit ilave edilerek güçlü rengi bastırmaktadır. M.S. 600'den sonra kobalt oksit kullanarak üretilen lacivert camlar, Avrupa'da çok popüler olmuştur. Venedik'te iyi derecede geliştiği bilinmektedir. Daha sonra Almanya ve İngiltere'ye taşınmıştır. Britanya'da, Britsol mavisi adıyla popülaritenin zirvesine ulaşmıştır. Çok sabit ve kararlı bir renklendirici olduğu için mavi cam üretiminde en uygun ve en yaygın seçenektir ve günümüzde dünyanın çoğu yerinde önemli ölçüde üretilmektedir [53].

Lacivert cam (Görsel 4.31- 4.33) denemelerinde kobalt oksit: %0.1, %0.3, %0.5, %1 ve %3 oranlarında kullanarak üç farklı sıcaklıkta (1100°C , 1150°C ve 1200°C) lacivert mavi üretilmiştir. Görsellerde görüldüğü gibi renklendiricinin yüzdesinin artmasıyla renk tonu koyulaşmıştır. Kobalt oksit çok güçlü bir renklendirici olduğu için %0.5 üzerinde kullanıldığı camların renk farkı kolay anlaşılır değildir. %3 gibi yüksek oranlarda taşma meydana gelmiştir. En iyi ve kabarcıksız lacivert renk 1200°C'de elde edilmiştir. 1100°C'de elde edilen denemelerde, düşük sıcaklıktan dolayı camlar kabarcıklı ve kısmen opaklardır. Bu opaklık 1100°C'de ve %0.1 oranında oldukça belirgindir.



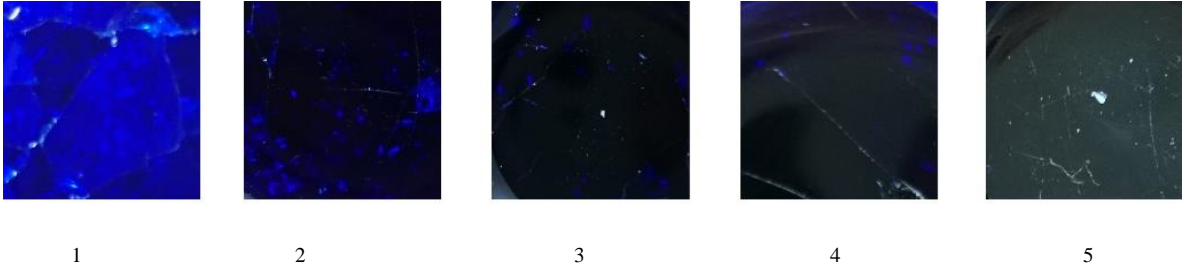
Görsel 4.31. 1100°C'de kobalt oksit kullanarak üretilen lacivert camlar.

Sırayla soldan: **1:** %0.1, **2:** %0.3, **3:** %0.5, **4:** %1, **5:** %3



Görsel 4.32. 1150°C'de kobalt oksit kullanarak üretilen lacivert camlar.

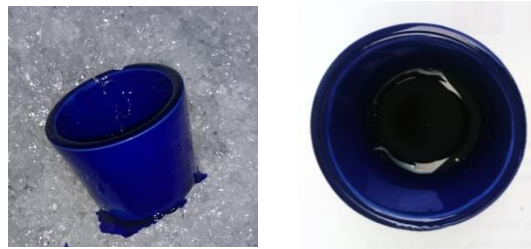
Sırayla soldan: 1: %0.1, 2: %03, 3: %0.5, 4: %1, 5: %3



Görsel 4.33. 1200°C'de kobalt oksit kullanarak üretilen lacivert camlar.

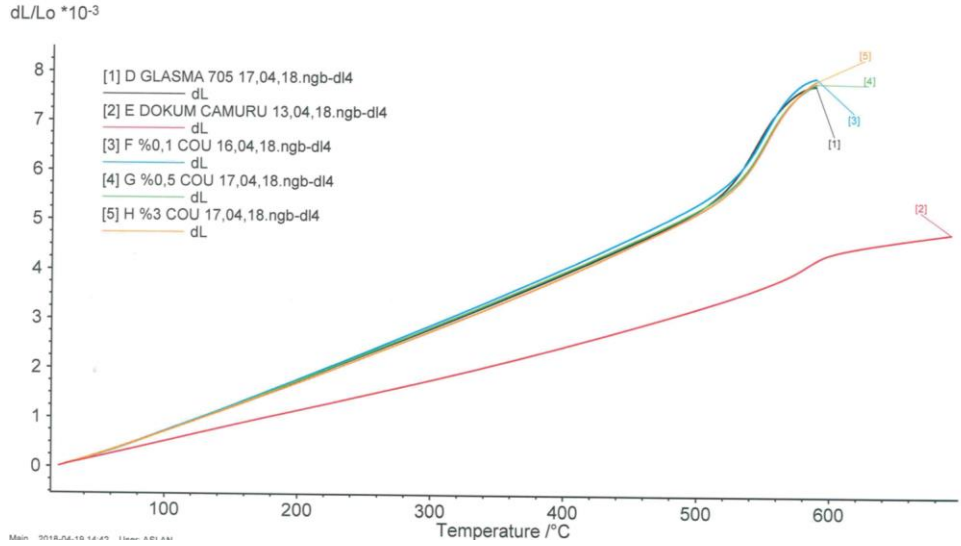
Sırayla soldan: 1: %0.1, 2: %03, 3: %0.5, 4: %1, 5: %3

Bu üç seri denemede dikkati çeken önemli bir nokta %3 numunede meydana gelen taşma sonucunda camın sır gibi tamamen krozenin yüzeyini homojen bir şekilde kaplamasıdır ve krozede kırılma görülmemiştir. Araştırma boyunca yapılan tüm denemelerin 1200°C'de yapılanların hepsi tamamen kırılarak parçalanmıştır. Ancak, bu seride bu olay dikkat çekmektedir ve 1150°C'de %3 metal oksit içeren numunede göz ardı edilecek kadar cam ve krozede çok hafif çatlama olmuştur (Bkz. Görsel 4. 34). Bu sonuç %3 numunede meydana gelen taşma ve buharlaşma sırasında bileşimden uzaklaşan kimyasalların camın bileşimini değiştirmesinden kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir bu olayın nedenini tam belirlemek için çeşitli ayrıntılı testler ve analizlerin yapılması gerekmektedir.



Görsel 4.34. 1150°C'de üretilen %3 kobalt oksit içeren numune

Diğer denemelerde olduğu gibi lacivert seri denemelerin ısı genleşme katsayılarının Glasma 705 camının ısı genleşme katsayısı ile uyumlu olduğu dilatometre analizi ile belirlenmiştir (Bkz. Görsel 4.35) .



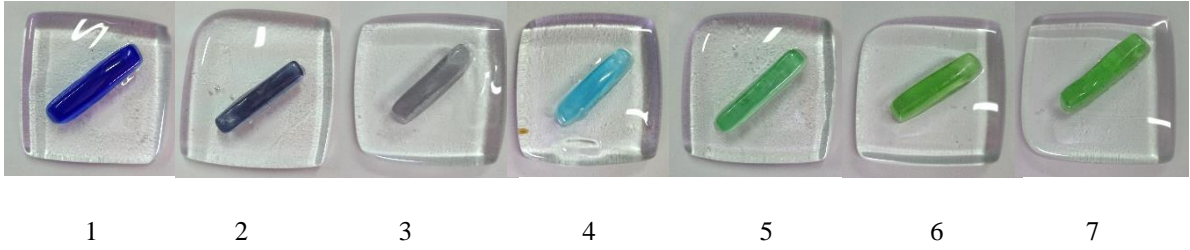
Görsel 4.35. Lacivert serisi, Glasma 705 ve döküm çamuru Dilatometre analizlerin karşılaştırılması

4.4.5.6. Kütle füzyon denemeleri

Üretilen renkli camların ısı genleşme katsayılarının Glasma 705 camının ısı genleşme katsayısı ile uyumlu olduğu dilatometre analizi ile belirlendikten sonra analiz sonuçlarını doğrulamak için kütle füzyon denemeleri de yapılmıştır. Bunun için renkli camlar 5×5×35 mm boyutunda çubuk şeklinde hazırlanıp 15×50×50 mm boyutunda şeffaf kütle Glasma 705 cam üzerine füzyon yöntemi ile birleştirilmiştir. Renkli çubuklar, her renk serisinden sanatsal çalışmada kullanılacak bir renk seçilerek hazırlanmıştır. Tablo 4.5'teki fırın diyagramı ile yapılan bu deneme sonuçlarında, camlarda gözle görünür her hangi bir tansiyon ve çatlığa rastlanmamıştır (Bkz. Görsel 4.36).

Tablo 4.4. Renkli ve Glasma 705 camların füzyon fırın diyagramı

	Zaman (dk.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme süresi(dk.)
1	280	450	20
2	120	550	20
3	250	750	10
4	Skip	600	20
5	60	550	180
6	120	450	20
7	120	300	20
8	140	30	End



Görsel 4.36. Renkli ve Glasma 705 camlarının füzyon denemeleri
1: %0.3 CoO içerikli, 2: %0.002CoO+%5 MnO₂ içerikli, 3: %5 MnO₂ içerikli, 4: %0.3 CuO,
5: %0.1 Cr₂O₃+%0.1 CoO, 6: %0.1 Cr₂O₃+%0.1 Fe₂O₃, 7: %0.1 Cr₂O₃

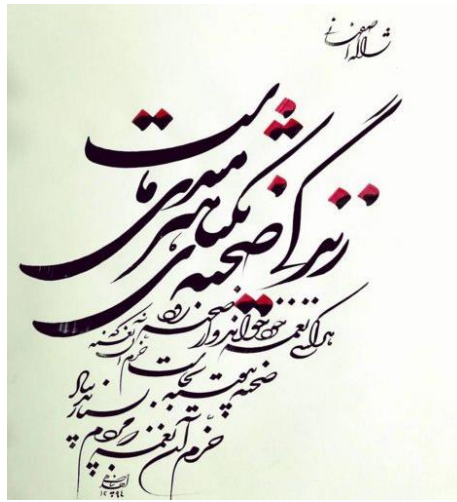
5. KİŞİSEL UYGULAMALAR

Bu bölümde elde edilen renkli camları kullanarak gerçekleşen sanatsal uygulamaların yapım süreçlerine ilişkin bilgilere yer verilmiştir. Çalışmaların hepsi kalıpta şekillendirme tekniği ile yapılmıştır.

5.1. Tasarım

Çalışmaların konsepti “camdan aşk” olarak seçilmiştir. Bu tema araştırmacının ülkesinin (İran) kültür ve edebiyatı ile ilişkilendirilmiştir. Uygulamalı çalışmalar, Farsça hat sanatından yararlanarak ve Farsça şiirlerinden konseptte uygun seçilen güzel kelimeler kullanıp soyutlaştırılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kelimeler aşk temalı şiirlerden alınmıştır. Çalışmaların en bariz özelliklerinden, Farsça kelimelerin soyut figürler ile birleşmesidir. Ayrıca işlerde negatif alanlara anlam yükleyerek pozitif negatif ilişkisine dikkat edilmiştir. Bir başka deyişle, kimi çalışmada kelime ve kimi çalışmada kelime anlamına vurgu yapan öge negatif alanda gizlidir. İşlerin genelinde, çizimlerde görülen negatif alanlarda renkli cam kullanılmıştır.

Çizimlerde görülen yumuşak ve oryantal hareketler *Nesta'lik*, *Kırık nesta'lik*, *Sülüs* ve *Nesih* gibi yazı hareketleri ile bağdaştırılmıştır (Bkz. Görsel 5.1).



Görsel 5.1. Kırık nesta'lik yazı örneği, Ahad Panahi, 2014.

Tez işleri, ruh ikizi, Aşk bir tahterevallli ise... , hırs, tutku, ebedi ve aşk labirenti isimli çalışmalardan oluşmaktadır. Çalışma eskizlerinden örnekler Görsel 5.2’de sunulmuştur.



Görsel 5.2. Çalışma eskizlerinden örnekler

5.2. Uygulama

5.2.1. Model hazırlama

Sanatsal işlerin modelleri hepsi strafordan yapılmıştır. Çizilen eskizler strafor üzerine aktarıldıktan sonra strafor kesim cihazı ile kesilmiştir. Model kesimi otomat cihazda yapılmadığı ve elle yapıldığı için kesim hatası olması kaçınılmazdır. Bu yüzden çizgi dışından kesilen yerler zımparalanarak düzeltilmesi gerekmiştir. Zımparalama işleminin gidiş-dönüş hareketi ile yapılması daha çok modelin bozulmasına neden olmaktadır bu yüzden sadece bir yönde ve nazik hareketler ile zımparalanması gerçekleştirilmiştir (Bkz. Görsel 5.3- 5.5).



Görsel 5.3. *Strafor kesme cihazında model kesimi ve model zımparalaması*

Fotoğraf: *Amaneh Manafidizaji*



Görsel 5.4. *Sanatsal çalışmaların strafor modelleri. Sırayla soldan: Ruh İkizi, Aşk bir tahterevalli ise..., Hırs*

Fotoğraf: *Khorram Manafidizaji*



Görsel 5.5. *Sanatsal çalışmaların strafor modelleri. Sırayla soldan: Tutku, Ebedi ve Aşk Labirenti*

Fotoğraf: *Khorram Manafidizaji*

5.2.2. Kalıp hazırlama

Kalıplar 50:50 oranında kuvars ve alçıdan hazırlanmıştır. Modellerin yüzeyi düz ve aynı hizada olduğundan dolayı havuz kalıp yapılmıştır. Strafor modellerinin kalıbı alınmadan önce dikkat edilmesi gereken husus zımparalanması ve yüzeyinin vazelin veya benzer ayrıştırıcıyla pürüzsüz hale getirilmesi ve kalıptan kolay çıkarılması için kaplanmasıdır. Strafor fazla hafif bir malzeme olduğu için mutlaka alçı veya erimiş mumla çalışma masası üzerine yapıştırılması ve sabitlenmesi şarttır aksi takdirde üzerine alçı dökülünce model alçı üzerine çıkmaktadır. Strafor model kalıp yarım kuru zamanında boşaltılmalıdır. Hemen kalıp alındıktan sonra model kalıptan çıkarılırsa kalıbın ince kısımları kırılabilir veya bozulabilir. Kalıp boşaltıldıktan sonra iç yüzeyini pürüzsüzleştirmek ve fırınlama sonrası soğuk işlemi minimuma düşürmek için ince zımparayla zımparalanmış ve yıkandıktan sonra kurumaya bırakılmıştır (Bkz. Görsel 5.6).



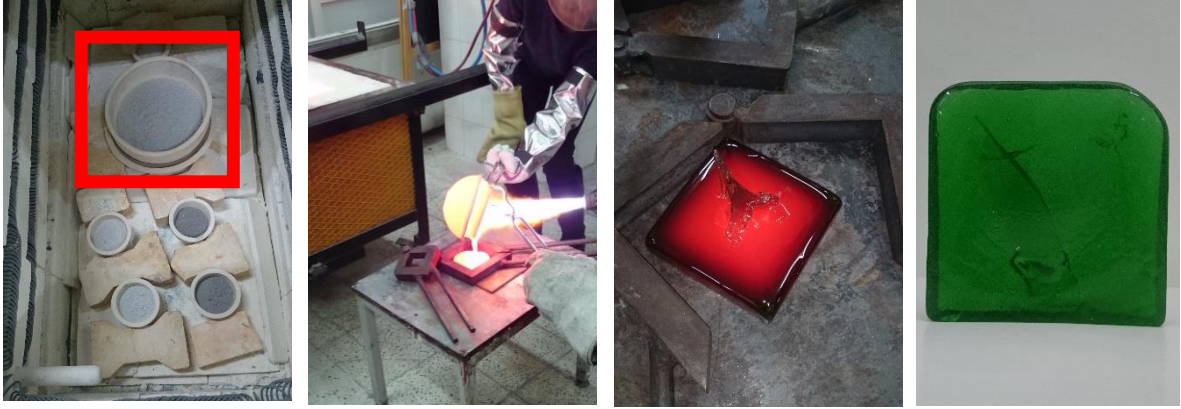
Görsel 5.6. Alçı kalıp hazırlanması ve straforların kalıptan çıkarılması

Fotoğraf: Amaneh manafidizaji

5.2.3. Camların hazırlanması

Camlar önce 1 kg kapasiteli potalarda belirlenen yüzdelerde renklendirilmiştir. Daha sonra maksimum sıcaklıkta metal kalıplarda döküm yapılmıştır. Döküm ilk önce 1150°C’de yapılmıştır (Bkz. Tablo 3.3.) ancak bu sıcaklıkta camın kalıba akması için yeteri kadar akışkan olmadığı görülmüştür ve cam potadan tamamen akmaya zaman bulamamıştır. Bu yüzden akışkan olması için sanatsal işlerde kullanılan camların dökümü 1200°C’de

yapılmıştır (Bkz. Görsel 5.7). Döküm yapıldıktan sonra camlar kalıpta şekillendirme aşamasına hazır hale getirmek için tavlama fırınına bırakılmıştır.



Görsel 5.7. Metal kalıba cam dökümü

Fotoğraf: Amaneh manafidizaji

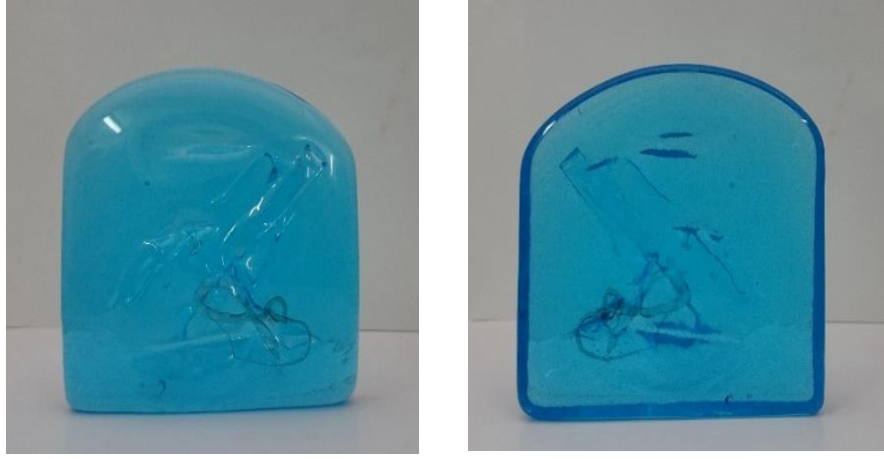
5.2.3.1. Sanatsal işler için seçilen renkli camlar

Bu tez kapsamında 31 farklı tonda üretilen renkli camdan 6 farklı renk sanatsal çalışmalar için seçilmiştir. Bu renkler uygulamalı çalışmaların boyut ve et kalınlığına göre seçilmiştir. Bunlar; koyu morumsu mavi (Bkz. Görsel 5.8), turkuaz (Bkz. Görsel 5.9), zeytin yeşili (Bkz. Görsel 5.10), çim yeşili (Bkz. Gösel 5.11), koyu turkuaz (Bkz.Görsel 5.12) ve mor camdır (Bkz. Görsel 5.13).



Görsel 5.8. 1200°C'de döküm yapılan koyu morumsu mavi cam ($3\% \text{MnO}_2 + \%0.01\text{CoO}$)

Fotoğraf: Khorram Manafidizaji



Görsel 5.9. *1200°C'de döküm yapılan turkuaz renkli cam (%0.3 CuO)*

Fotoğraf: Khorram Manafidizaji



Görsel 5.10. *1200°C'de döküm yapılan zeytin yeşili renkli cam (%3 Fe₂O₃)*

Fotoğraf: Khorram Manafidizaji



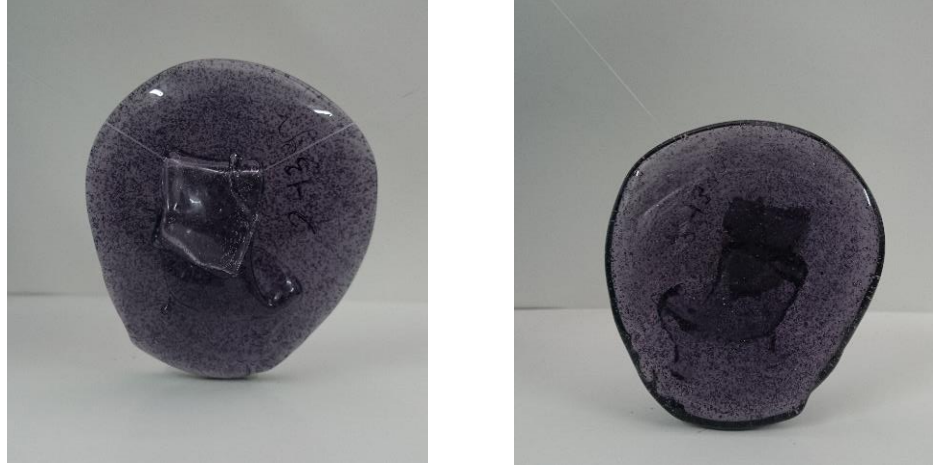
Görsel 5.11. *1200°C'de döküm yapılan çim yeşili renkli cam (%0.1 Cr₂O₃)*

Fotoğraf: Khorram Manafidizaji



Görsel 5.12. *1150°C'de döküm yapılan koyu turkuaz cam (%1 CuO)*

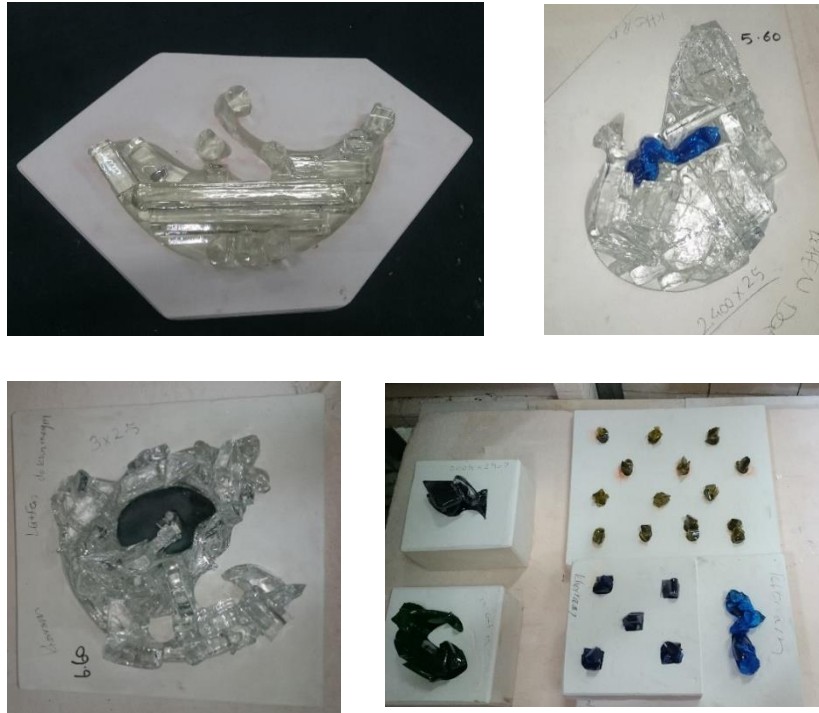
Fotoğraf: Khorram Manafidizaji



Görsel 5.13. *1200°C’de döküm yapılan mor cam (%5 MnO₂)*

Fotoğraf: Khorram Manafidizaji

Hazırlanan camlar kalıpta şekillendirme için kırılıp kalıpların içine yerleştirildikten sonra (Bkz. Görsel 5.14) fırınlamaya hazır hale getirilmiştir.



Görsel 5.14. *Camların kalıba yerleştirilmesi.*

Fotoğraf: Khorram manafidizaji

5.2.4. Fırlama süreci

Kalıplar tamamen kuruduğunda camların yerleştirilmesine ve fırlama aşamasına geçmeye hazır hale getirilmiştir. Eskizleri uygulamaya dökmeye ve şeffaf ile renkli camları bir arada kullanabilmek için iki farklı yöntem uygulanmıştır. Birincisi; fırlama ve sıcak işlem sırasında birleştirme, ikincisi; soğuk işlem ile birleştirmektir. Çalışmaların ilk başta birinci yöntem ile yapılmasına karar verilmiştir fakat işlem sonrası karşılaşılan sorunlardan dolayı ikinci yöntem ile devam edilmiştir.

5.2.4.1. Fırlama diyagramı

Sıcak işlem ile birleştirilen alışmalar Tablo 5.1’de gelen diyagram ile fırlanmıştır. Devitrifikasyonu önlemek için maksimum sıcaklıkta 600 dk. bekledikten sonra 640°C’ye kadar hızlı bir şekilde ve fırın kapağı 2-3 defa açılarak soğutulmuştur (Bkz. Görsel 5.15) ve sonra tavlama sıcaklığına (515°C) düşmesi ayarlanmıştır.

Tablo 5.1. Sanat eserlerini fırlamak için birinci yöntemde uygulanan fırın diyagramı.

	Zaman (dk.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme süresi(dk.)
1	90	85	360
2	780	677	120
3	Skip	870	600
4	Skip	515	600
5	2000	400	250
6	2500	50	0



Görsel 5.15. maksimum sıcaklıkta fırının aşamalı soğutulması

Fotoğraf: Khorram Manafidizaji

İlk seri işlerin çoğu daha önce ayrıntılı olarak açıklanan nedenlerden dolayı başarısız olduğu için soğuk işlem ile birleştirmek üzere yapılan ikinci seri çalışmalar Tablo 5.1’de gelen diyagramda bazı değişiklikler yapılarak fırınlanmıştır (Bkz. Tablo 5.2). Maksimum sıcaklıkta yapılan soğutma işlemi termal şoku önlemek için 30 dakikada, kısa aralıklarla ve öncekinden daha uzun sürede yapılmıştır.

Bu defa fırın sıcaklığı 550°C’ye sabitlenerek tavlamaya bırakılmıştır. Sonuç; cam yüzeyinde daha az devitrifikasyon ve daha az kaymaklanma görülmüştür. Fırının soğutma aşamasında dikkat edilecek nokta kontrolörlerin gösterdiği sıcaklık ve fırın içi sıcaklığının aynı olmamasıdır bu yüzden fırın içi sıcaklığı lazer termometre ile ölçülmüştür ve maksimum sıcaklıkta termometre ve kontrolörlerin gösterdiği sıcaklıkta 80°C fark görülmüştür. Yani, fırının içi kontrolörlerin gösterdiği sıcaklıktan daha sıcaktır.

Tablo 5.2. Sanat eserlerini fırınlamak için ikinci yöntemde uygulanan fırın diyagramı.

	Zaman (dk.)	Sıcaklık (°C)	Bekleme süresi(dk.)
1	90	85	360
2	780	677	120
3	240	880	700

Tablo 5.2. (Devam) Sanat eserlerini fırınlamak için ikinci yöntemde uygulanan fırın diyagramı.

4	Skip	550	1000
5	2500	400	250
6	2500	50	0

5.2.4.2. Sıcak işlem ve karşılaşılan sorunlar

Bu tezin sanatsal çalışmaları için en kritik aşama fırınlama aşamasıdır. Daha önce bahsedildiği gibi üretilen renkli camlar oksit ilaveli oldukları için termal genleşme katsayıları, sertlikleri ve viskoziteleri Glasma 705 camıyla uyumlu olmayabilmektedir. Yapılan dilatometre analizlerine göre üretilen renkli camların termal katsayıları Glasma 705 camı ile uyumlu oldukları tespit edilmiştir ancak uygulama sonrası işlerde tansiyon ve çatlama görülmüştür. Bu olayda çeşitli faktörler rol oynamaktadır. Bunların; iki camın viskozite farkı, erime sıcaklığı farkı, ısıl iletim farkı ve devitrifikasyon olduğu düşünülmektedir.

Viskozite; iki camın uyumlu olmaları için termal genleşme katsayılarının uyumlu olması şarttır ama yeterli değildir ancak bununla birlikte viskozitelerinin de uyumlu olması gerekmektedir [56].

Erime sıcaklığı; şeffaf cama metal oksit ilave edildiğinde, erime noktası değişebilmektedir. Yani yüksek erime noktasına sahip bir metal oksit cama ilave edildiğinde üretilen renkli camın erime noktası şeffaf camdan daha yüksek olmaktadır. Örneğin, Isı Mikroskobu⁸ analizi ile %3 krom oksit ilaveli camın erime noktasının Glasma 705 camından daha yüksek olduğu görülmüştür (Bkz. Görsel 5.16).

⁸ "Isı mikroskobu ile ısıtma süresince, bir veya aynı anda iki numunenin sinterleme, yumuşama, küre, yarı küre ve ergime sıcaklıkları gibi karakteristik sıcaklıkları atomatik olarak belirlenmektedir. Aynı zamanda ısı mikroskobu olarak da kullanılabilen optik dilatometre cihazı ile frit, sır ve cam seramikler de dahil olmak üzere her türlü seramik bünyenin termal davranışlarını incelemek mümkündür."

(<http://www.seramikarastirma.com.tr/Home/ContentDetail/analiz/termal-analizler?type=hizmet>)

Code:	002175	Test type:	Single sample
Description:	GOKTUG %3 CR 20	Min. temperature:	401 °C
Date:	29.04.2016	Max. temperature:	1398 °C

Code:	001355	Test type:	Single sample
Description:	GOKTUG STD 1	Min. temperature:	400 °C
Date:	12.11.2015	Max. temperature:	1034 °C

Thermal cycle			
	Rise	Temp	Stasis
1	50,0	400 °C	0,0
2	10,0	1400 °C	0,0
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Typical values	
Shape	Temperature
Sintering	622 °C
Softening	784 °C
Sphere	864 °C
Half sphere	932 °C
Melting	976 °C

Test duration	
Total	001:47:59
from 1st click	001:40:27

Breaks			
	Start	Interv.	End
1	400°C	10°C	400°C
2		2°C	1400°C
3		2°C	1400°C

Standard	
MISURA	

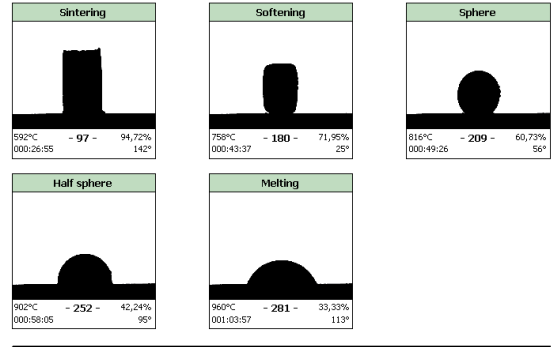
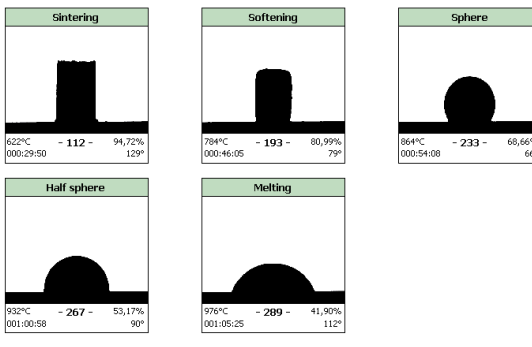
Thermal cycle			
	Rise	Temp	Stasis
1	50,0	400 °C	0,0
2	10,0	1500 °C	0,0
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Typical values	
Shape	Temperature
Sintering	592 °C
Softening	758 °C
Sphere	816 °C
Half sphere	902 °C
Melting	960 °C

Test duration	
Total	001:11:22
from 1st click	001:03:43

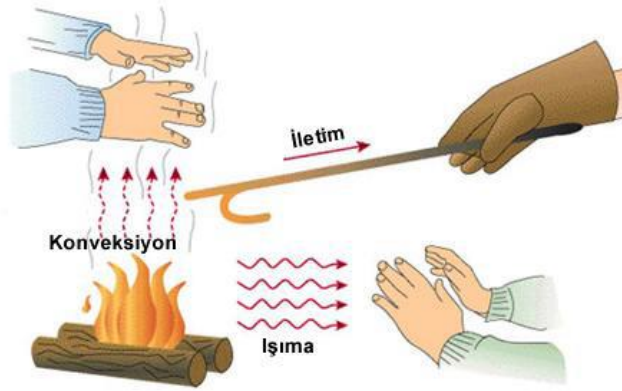
Breaks			
	Start	Interv.	End
1	400°C	10°C	400°C
2		2°C	1500°C
3		2°C	1500°C

Standard	
MISURA	



Görsel 5.16. %3 Krom oksit içerikli yeşil cam ve Glasma 705 camın Isı Mikroskobu analizlerin karşılaştırılması

Isıl İletkenlik (Kondüksiyon); bir ortam içerisinde (katı, sıvı, gaz) bulunan bölgeler arasında ısının maddesel veya maddesiz ortamı geçerek yayılmasına ısı transferi veya iletkenliği denir. Isı 3 şekilde yayılır. Bunlar; iletim yoluyla yayılma, konveksiyon (taşıma) yoluyla yayılma ve ışımaya (radyasyon) yoluyla yayılma. İletim yoluyla yayılmada, maddeye ısı verildiğinde maddenin tanecikleri titreşim hareketi yaparlar ve yakınlarında bulunan tanecikleri de etkilerler. Isının bu titreşim yoluyla yayılmasına iletim yoluyla yayılma denir. Konveksiyon (Taşıma) yoluyla yayılma, bir katı yüzey ile ona bitişik, hareket halindeki akışkan (sıvı ya da gaz) arasında ısı transfer türüdür. Sıcak taneciklerle soğuk taneciklerin yer değiştirmesi yoluyla gerçekleşen ısı transferi konveksiyon yoluyla yayılmadır. Isının boşlukta ve radyasyon şeklinde maddesel ortama ihtiyaç duymadan yayılmasına da Işıma(Radyasyon) yoluyla yayılma denir (Bkz. Görsel 5.17) [57] .



Görsel 5.17. Isının yayılma yolları

Kaynak: <http://studylibtr.com/...>

Camların ısı iletkenliği kompozisyonlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Laurent Pilon ve arkadaşlarının yaptığı bir araştırmada, 1100° C ile 1500° C arası farklı oranlarda demir oksit (Fe_2O_3) içeren soda-kireç-silika camlarının ısı iletkenliği ölçülmüştür. Bu araştırmanın sonucuna göre yüksek demir içerikli cam, düşük demir içerikli camdan çok daha küçük ısı iletkenliğe sahiptir [58].

Isıl genleşme katsayıları uyumlu olan fakat ısı iletimi farklı olan camlarda uyumsuzluk görülebilmektedir. Bu camların birlikte kullanımı ve füzyon olması durumunda camda tansiyon oluşmaktadır. Bu camların ısı iletkenliği ile birleşmesinde fırınlama diyagramı çok kritik ve önemli rol almaktadır. Her iki tür camın ısı yayılımına dikkat ederek doğru fırın diyagramı uygulandığı takdirde tansiyon oluşumu önlenmektedir. Isıl iletkenliği farklı camların rastgele bir şekilde ısıtılması ve soğutulması nedeniyle tavlama sırasında iki cam arasında gerilim oluşabilmektedir. Farklı ısı iletkenliğine sahip camların birlikte kullanımında işlerin daha uzun ve yavaş diyagramla fırınlanması ve tavlama süresinin daha uzun tutulması gerekmektedir.

Devitrifikasyon; cam amorf bir madde olduğu için düzensiz bir yapıya sahiptir. Cam eriyik fazdan katı faza geçme sırasında düzenli kristal yapı oluşturma eğilimindedir. Camın ergime sıcaklığında uzun süre tutulması kristal yapı kurmasına yardımcı olmaktadır. Bu kristaller camınkinden farklı bir bileşime ve ısı iletkenliğine sahiptir. Kristallerin olduğu bölgeler tansiyon bölgeleridir ve camda çatlak oluşumuna neden olmaktadır.

Kristallerin oluşumunu önlemek için camın oldukça hızlı bir şekilde tavlama sıcaklığına kadar soğutulması gerekmektedir. Yüksek oranda kireç içeren camlar daha kolay devitrifiye olma (kristalleşme) eğilimindedirler. Stüdyo camcılığında devitrifikasyon sorunu genellikle fırın içi şekillendirme tekniğinde ve yavaş soğutulduğu takdirde meydana gelmektedir. Eğer devitrifikasyonun homojen bir dağılımı olursa başka nedenlerden kaynaklanabilmektedir. Birincisi, füzyon ve ya döküm yapılan camın yüzeyinde toz gibi kirliliklerin oturmasıdır. İkincisi, camın faz ayrımıdır. Cam faz ayrımı, iki farklı ağırlıkta olan camın ergime sırasında ayrışımıdır (Glass-to-glass phase separation). Stüdyo cam sanatçıları özellikle fırın içi şekillendirme yapanlar camı tekrardan eritip veya füzyon yaptıklarında devitrifiye olmuş bölgelere dikkat etmeleri gerekmektedir çünkü devitrifiye olmuş cam normal cam kadar kolay eriyemez ve istenen forma giremez. Her ne kadar iki cam tamamen birleşse de, sonuç kaçınılmaz olarak kararsız olacak ve muhtemelen kolayca çatlayıp parçalara ayrılacaktır [53, 59].

Sanatsal çalışmalarda “ruh ikizi” ve “ebedi” adlı çalışmalarda yukarıda bahis edilen sorunlar yaşanmıştır. “Ruh ikizi” adlı çalışmada %3 manganez oksit içerikli renkli cam kullanılmıştır. İlk önce renkli ve şeffaf cam modele göre ayrı ayrı kalıplarda fırınlanıp sonra tek kalıpta fırın içi çalışma ile birleştirilmiştir. Ancak ilk aşamada yapılan fırınlamada cam yüzeyinde devitrifikasyon ve kaymaklanma görülmüştür. İkinci fırınlamada 870°C maksimum sıcaklıkta iki cam tamamen birleşmemiştir ve iki camın yarım birleştiği yerde çatlama meydana gelmiştir. Bu tam kaynaşmama ve çatlama olayının birkaç nedeni vardır. Birincisi; manganez dioksit içerikli camın erime sıcaklığının Glasma 705 camın erime sıcaklığından daha yüksek olması ve maksimum sıcaklığının manganez dioksit içerikli camı eritmek için yetmemesidir. Dolayısıyla maksimum sıcaklıkta iki camın viskozite farkından dolayı tavlama aşamasında çatlama meydana gelmiştir. Ayrıca camlar birinci aşamada devitrifiye olduğu için ergime sıcaklıkları birinci aşamada olduğu gibi değildir ve daha yüksek sıcaklığa yükselmiştir. Sonuç olarak, bu işte meydana gelen çatlama nedenleri erime sıcaklığı ve viskozite farkı ve devitrifikasyon oluşumudur (Bkz. Görsel 5.18).



Görsel 5.18. *Isıl işlem ile birleşen çalışmanın fırınlama öncesi ve sonrası*

Fotoğraf: Khorram Manafidizaji

Görsel 5.18’de görüldüğü gibi mor cam ve şeffaf cam yarı füzyon olmuştur ve tamamen kaynaşmamıştır. Mor camın dokusunun fırınlama sonrası bile bozulmadığı görülmektedir. Bu olay 870°C’nin derecenin mor camın eritmesi için yeterli olmadığıdır. Dilatometre analizi ile bu çalışmada kullanılan iki camın ısıl genleşme katsayılarının uyumlu olduğu saptanmıştır. İki camın uyumlu olması için ısıl genleşme katsayısının uyumlu olmasının gerekli olduğu ama yeterli olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla buna ek olarak bahis edilen faktörler de iki camın uyumlu olmasında çok önemli rol oynamaktadırlar.

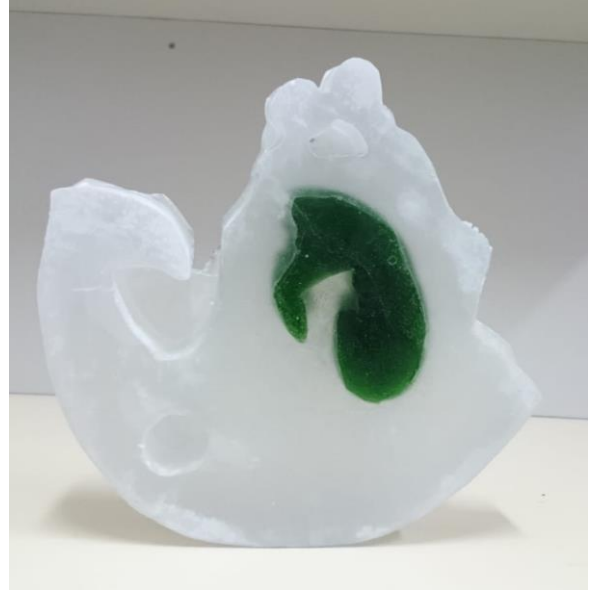
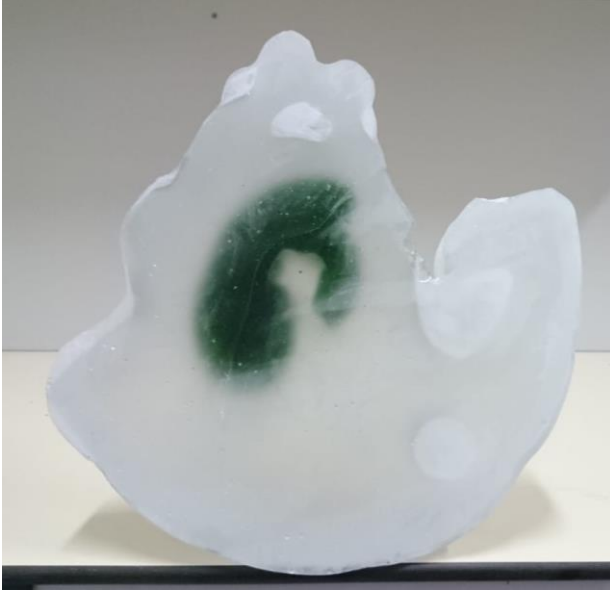
Bu çalışma, tansiyonların ısıl şoka maruz kalınması nedeniyle oluşmadığından emin olmak için tekrar fırınlanmıştır. Sonuçta aynı şekilde çatlakların yeniden ortaya çıkmasına ek olarak, tüm yüzeyde devitrifiye olan kısımlarda kristallerin büyümesi ve çoğalması ve şeffaf olan camın yüzeyinde 1cm yüksekliğinde köpürme meydana gelmiştir. Bu olay aynı çalışmanın üç kere fırınlanmasından ve bu sürede cam kompozisyonundan bazı bileşenlerin uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır (Bkz. Görsel 5.19).



Görsel 5.19. *Ruh ikizi adlı çalışma için fırınlama sonrası*

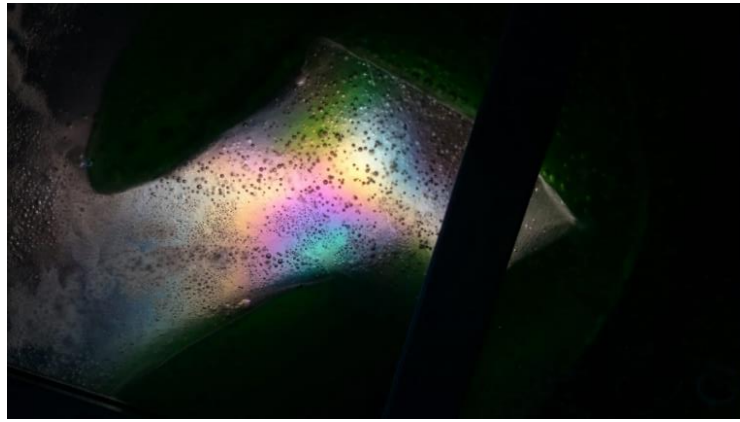
Fotoğraf: Khorram Manafidizaji

Bu çalışma ile birlikte aynı fırında başka iki çalışma da aynı ısı işlem ve aynı koşullarda fırınlanmıştır. Ancak kullanılan renkli camlar farklı metal oksitler içermektedirler. Aynı yöntem ile yapılan bu diğer iki çalışmada %0.5 krom oksit (Ebedi adlı çalışmada) ve %1 bakır oksit (Hırs adlı çalışmada) kullanılmıştır. “Ebedi” adlı çalışma yukarıda gelen nedenlerden dolayı başarısız sonuçlanmıştır (Bkz. Görsel 5.20 ve Görsel 5.21). Ancak “Hırs” adlı çalışmada dilatometre analizlerinde de görüldüğü gibi, iki renkli ve şeffaf cam arasında uyumsuzluk görülmeden beklenen sonuç elde edilmiştir.



Görsel 5.20. *“Ebedi” adlı çalışmanın kalıp içi şekillendirmesi*

Fotağraf: Khorram Manafidizaji



Görsel 5.21 *“Ebedi” adlı çalışmanın tansiyon bölgeleri polariskop altında*

Fotağraf: Khorram Manafidizaji

5.2.4.3. Soğuk işlem ile yapılan çalışmalar

Bu yöntemde şeffaf ve renkli parçalar ayrı ayrı fırınlanmıştır ve parlatma sonrası yapıştırıcı ile veya yapıştırıcı kullanmadan iç içe geçirerek birleştirilmiştir (Bkz. Görsel 5.22– Görsel 5.27).



Görsel 5.22. *tutku, kalıpta şekillendirme, 06.06.2018,*

Boyut: 5×25×35 cm

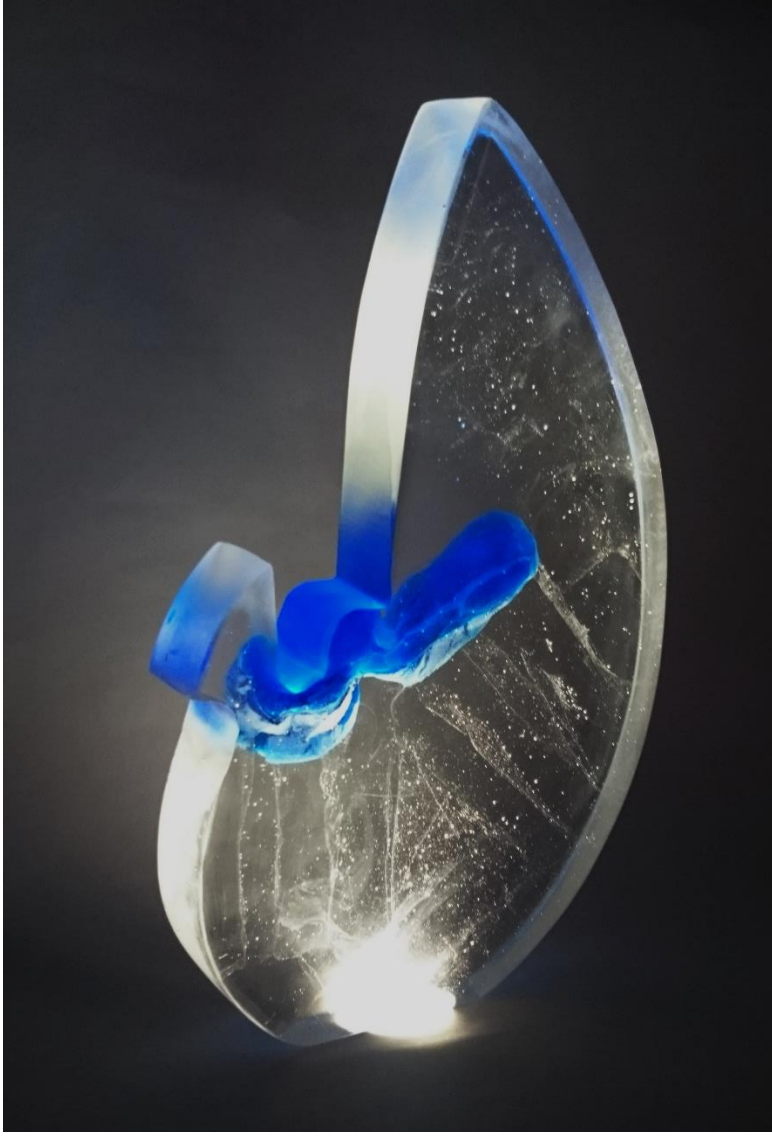
Fotoğraf: Khorram Manafidizaji



Görsel 5.23. *Aşk bir tahterevalli ise... , kalıpta şekillendirme, 06.06.2018,*

Boyut: 5×20×30 cm

Fotoğraf: Khorram Manafidizaji



Görsel 5.24. *Hırs, kalıpta şekillendirme, 06.06.2018,*

Boyut: 5×25×38 cm

Fotoğraf: Khorram Manafidizaji



Görsel 5.25. *Ruh ikizi, kalıpta şekillendirme, 18.06.2018,*

Boyut: *5×28×38 cm*

Fotoğraf: *Khorram Manafidizaji*



Görsel 5.26. *Ebedi, kalıpta şekillendirme, 18.06.2018,*

Boyut: *5×32×32 cm*

Fotoğraf: *Khorram Manafidizaji*



Görsel 5.27. *Aşk labiresnti, kalıpta şekillendirme, 11.07.2018,*

Boyut: 3×30×50

Fotoğraf: *Khorram Manafidizaji*

SONUÇ

Bu tez çalışmasında, atık şeffaf Glasma 705 camı ve farklı metal oksitler (manganez dioksit, bakır oksit, krom oksit, kobalt oksit ve demir oksit) kullanılarak çeşitli tonlarda renkli camlar üretilmiştir. Çalışmanın merkezinde bir ürün üretmekten ziyade, atölye ortamında düşük eritme sıcaklığında renkli cam üretmek için uygun bir test süreci geliştirme yer almaktadır. Yapılan denemelerde, istenen renkleri ve bu renklerin farklı tonlarını elde etmek için cam harmanında belli ve sabit yüzdelerde metal oksitler kullanılmış ve eritme sıcaklığı ve fırınlama süreci kontrol altına alınmıştır. En iyi sonucu bulmak için denemelerde üç farklı sıcaklık (1100°C, 1150°C, 1200°C) kullanılmıştır. Özel bir firmadan döküm çamuru temin edilerek cam eritme için özel potalar hazırlanmış ve camın eritme işlemi bu potalarda gerçekleştirilmiştir. Glasma 705 cam tozuna %0.1, %0.3, %0.5, %1 ve %3 oranlarda krom oksit ilave edilerek yeşil camın eldesi gerçekleştirilmiştir. Bu seride en iyi sonuç 1200°C’de ve %0.3 altında elde edilmiştir. Yeşil camların farklı tonlarını üretmek için renklendirici olarak krom oksit ilave edilmiş cam harmanına demir oksit ve kobalt oksit ilavesi ile sarımsı ve mavimsi yeşil cam eldesi gerçekleştirilmiştir. Glasma 705 cam tozuna %0.1, %0.3, %0.5, %1 ve %3 oranlarında manganez oksit ilave edilerek mor camın farklı tonlarının eldesi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir ve en iyi sonuç 1150°C’de eritme işlemi ile ve %1 üzerinde manganez oksit ilavesi ile elde edilmiştir. Morumsu mavi camın farklı tonlarının eldesi, %3, %5 ve %7 oranlarında manganez dioksit içerikli cam harmanına %0.002 ve %0.006 oranlarında kobalt oksit ilave edilerek gerçekleştirilmiştir. 1150°C’de eritme ile serinin en iyi sonucu elde edilmiştir. Glasma 705 cam tozuna %0.1, %0.3, %0.5, %1 ve %3 oranlarda bakır oksit ilave edilip 1200°C’de eritilerek turkuaz cam serisinin en iyi sonuçlarına ulaşılmıştır. Glasma 705 cam tozuna %0.1, %0.3, %0.5, %1 ve %3 oranlarda kobalt oksit ilave edilerek 1200°C’de eritmeyle lacivert cam serisinin en iyi sonucu elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında atölye şartlarında elimizdeki atık camlar değerlendirilerek renkli camlara dönüştürülebildiği görülmüştür. Çalışmaların kapsamında “Camdan Aşk” konsepti belirlenerek ve soğuk işlem ve sıcak işlem ile üretilen renkli camların Glasma 705 şeffaf camına birleştirilmeli olarak sanatsal ürüne dönüştürme işlemleri yapılmıştır. Üretilen renkli camların termal genleşme katsayılarının şeffaf camın termal genleşme katsayısı ile uyumlu olup olmadığını belirlemek için dilatometre analizleri yapılmıştır.

Yapılan tüm dilatometre analizlerinde renkli camların termal genleşme katsayılarının Glasma 705 camın termal genleşme katsayısı ile uyumlu oldukları saptanmıştır. Bu analiz sonuçlarının doğruluğu pratik olarak füzyon denemelerinde ve sanatsal cam çalışmalarında da test edilmiştir. Ancak yapılan büyük boyutlu çalışmalar sonucunda sıcak işlem ile üretilen renkli camların Glasma 705 şeffaf camıyla birleştirilmesinin sonucunda cam üründe çatlama olduğu görülmüştür. Soğuk cam işlemi ile bu renkli camların Glasma 705 camıyla birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Camların termal genleşme katsayıları haricinde viskozitesi, ısı iletkenliği, ergime sıcaklığı gibi özelliklerinin de özellikle sıcak işlemi ile birleştirmede önemli olduğu görülmüştür. Bu çalışmada çıkan bir sonuçta camların dilatometre testinde birbirine uymasına rağmen viskozite, ergime sıcaklığı ve ısı iletkenlik katsayısı vb. nedenlerden dolayı camlarda tansiyon oluşumunun olabileceğidir, başka bir deyişle camların birbiri ile uyumlu olması için termal genleşme katsayılarının uyumlu olması gereklidir ancak yeterli değildir ve bununla birlikte iki camın viskozitesi, ergime sıcaklığı vb. değerlerinin de uyumlu olması şarttır.

Bu tezde kullanılan soda-kireç-silika camının ısı mikroskobu analizine göre 960°C gibi yüksek ergime sıcaklığına sahip olması nedeniyle kalıp içi şekillendirme tekniğinde başarılı sonuçların elde edilmesi için daha dayanıklı kalıp malzemesinin kullanılması önerilmektedir. Genellikle bu yöntemde alçı kalıp kullanılmaktadır ve alçı kalıp 960°C gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı değildir. Çalışmalar kapsamında bu problemin aşılabilmesi için yani alçı kalıbın bozulmaması için ısı mikroskobuna göre belirlenen 960°C cam ergime sıcaklığının altında alçı kalıbın içindeki cam ergitilmiştir. Alçı kalıbın bozulmadan uzun süre dayanabileceği maksimum sıcaklık olan 880°C’de uzun süre tutulmasıyla camın tamamen alçı kalıbın şeklini alması sağlanarak cam şekillendirilmiştir. Belirtilen sıcaklıkta 700 dakika gibi uzun süre ısı işlemi nedeniyle cam yüzeyinde kısmi devitrifikasyon gözlemlenmiştir bu üretilen camların soğuk işleme tabi tutulmasıyla giderilmiştir. Alçı kalıp yerine daha yüksek sıcaklığa dayanımı olan kalıp kullanılarak buradaki devitrifikasyonun giderilebileceği düşünülmektedir. Renklendirilen camlar sadece kalıpta değil, frit ve çubuk şeklinde serbest üfleme veya kalıba üfleme yönteminde de kullanılabilir.

Tezin sonucunu özetlemek gerekirse; atölye ortamında atık Glasma 705 camın düşük maksimum sıcaklığına çıkabilen seramik fırınlarında ve kendi yaptığımız döküm

çamurundan potalarda başarılı bir şekilde düşük sıcaklıkta eritilmesiyle renklendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Renkli camların kobalt oksit, krom oksit, manganez dioksit ve bakır oksit ilavesi ile üretilebildiği belirlenmiştir ve bu elde edilen camlar sanatsal ürünlerin gerçekleştirilebilmesinde başarıyla kullanılmıştır.